# 机械原理

## 平面机构结构分析

### 自由度计算

#### 计算公式



其中为自由度，为低副个数，为高副个数，为活动构件个数

#### 低副

常见的低副为移动副与转动副

|  |  |
| --- | --- |
| 移动副 |  |
| 转动副 |  |

#### 固定构件

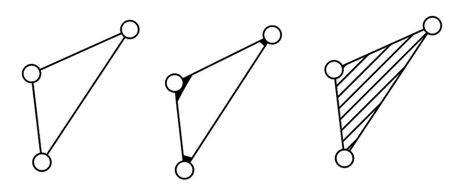
构件分为活动构件和固定构件（机架）。图片包含 图示

AI 生成的内容可能不正确。常见的机架：

手机屏幕截图

AI 生成的内容可能不正确。\*该图与上图定块十分类似，但是下面的图滑块是可以运动的，而上面图的定块是固定构件不可运动。

#### 活动构件

形状

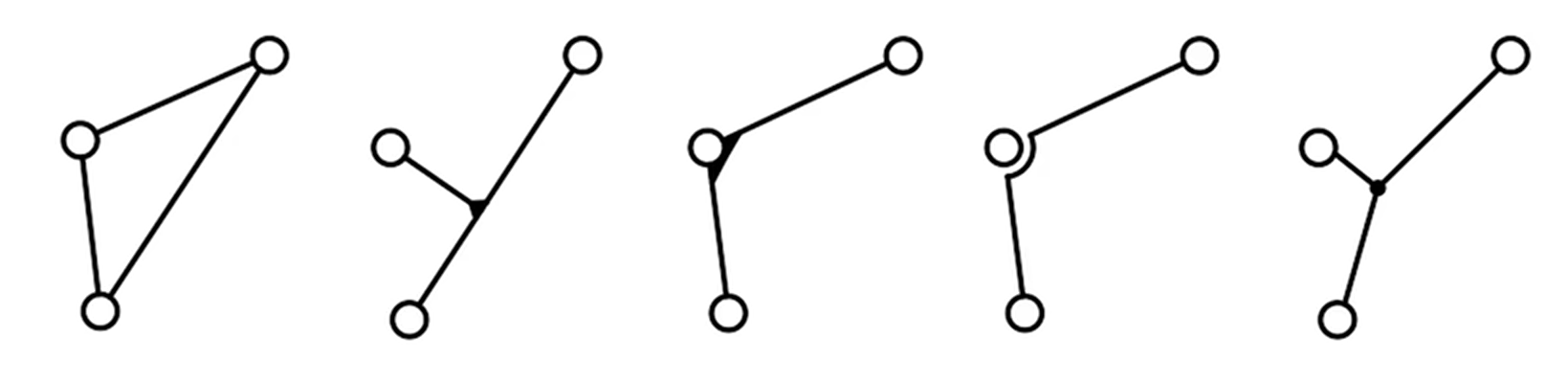
AI 生成的内容可能不正确。图表, 箱线图

AI 生成的内容可能不正确。常见的活动构件：

形状, 矩形

AI 生成的内容可能不正确。图片包含 图标

AI 生成的内容可能不正确。



线条连续即为同一构件。

上图所有三角形等价。其中拐角的阴影代表焊接，实心的阴影代表桁架。

#### 高副

常见的高副为齿轮副，凸轮副，圆弧高副和滚子高副

##### 齿轮

图示, 工程绘图

AI 生成的内容可能不正确。图示, 工程绘图

AI 生成的内容可能不正确。

图示, 工程绘图

AI 生成的内容可能不正确。

两齿轮接触点为高副。

##### 凸轮

形状, 圆圈

AI 生成的内容可能不正确。图示

AI 生成的内容可能不正确。

左图1虽然线条连续但是明显是分开的（否则转起来断掉了）所以不能认为是一个构件。

##### 图示 AI 生成的内容可能不正确。圆弧和滚子

#### 基础机构

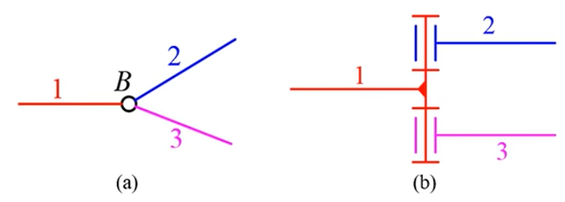
#### 图示 AI 生成的内容可能不正确。机构的运动

机构原动件数目等于机构的自由度数目且自由度大于0时具有确定运动。

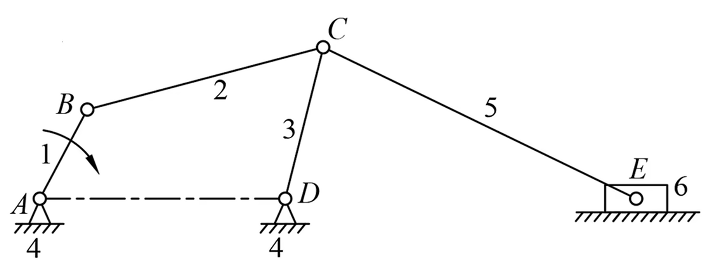
如果机构的原动件数小于机构的自由度，机构的运动将不确定；如果原动件数大于机构的自由度，将导致机构中最薄弱环节的损坏。

因此题目中**自由度大部分为1或2**。

#### 复合铰链



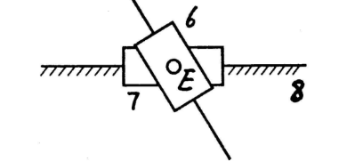
*C*



图中的C点看似是一个转动副，实际上画成俯视图为两个转动副。

当构件在同一点形成转动副时，转动副的数目应为。注意，这里的是包括机架（固定构件）的

注意：右图不是复合铰链，因为转动副只连接了两个构件



#### 局部自由度

图示

AI 生成的内容可能不正确。不影响其他构件运动，仅与其自身的局部运动有关的自由度称为局部自由度。

局部自由度的表现形式一般为滚子构件。在计算机构自由度时应将局部自由度去除，即将滚子和与其通过转动副连接的一个构件焊在一起再进行计算。

#### 虚约束

在机构中不起独立限制作用的重复约束称为虚约束。

##### 距离不变虚约束

图示

AI 生成的内容可能不正确。

##### 移动副导路平行虚约束

手机屏幕截图

AI 生成的内容可能不正确。

此类虚约束计算自由度时需要去掉一个移动副。

##### 构件重复虚约束

图示

AI 生成的内容可能不正确。图示, 工程绘图

AI 生成的内容可能不正确。

##### 图示 AI 生成的内容可能不正确。对称虚约束

图中红色部分可以去除，效果不变。

##### 高副公法线重合虚约束

图示

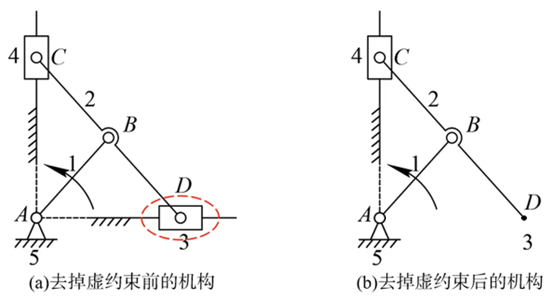
AI 生成的内容可能不正确。

形状

AI 生成的内容可能不正确。

若高副公法线重合，保留两处高副中的一处即可。

##### 轨迹重合虚约束



去掉移动副之后仍与先前轨迹重合，故为轨迹重合虚约束。

图表, 折线图

AI 生成的内容可能不正确。

![图表, 折线图

AI 生成的内容可能不正确。](data:image/png;base64,iVBORw0KGgoAAAANSUhEUgAAAXEAAAKTCAYAAADv4ziwAAAAAXNSR0IArs4c6QAAAARnQU1BAACxjwv8YQUAAAAJcEhZcwAADsMAAA7DAcdvqGQAAFwYSURBVHhe7d2Hd1X1uj76399zGfeOe8/ZSiCNJKQTQhqL3hKQDuk9lFCCFKWTuvrsc60ki6YUC7oEFUWXYu9b3batIgRs+7njO+dayWIBbguwcft8xnhHCAQy8Zzz8J53fsv/+T9ERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERERET032Do8MEFQ0cOXhw6fBDDRw5i6Mg+mMO7oA9uhxrsgmxusT4OH9uDU2dcOHXGefHkE84FiX8OERHdZYOH9xcOhg6G/Oom+NVO+JQNcEttGPA1wulvgluyy6M0w6e1Qw10WuGuDW4PqYPbCxP/PCIiuktEgKvB9pBX7oBXboFqroOst8ErN8KrNELSWyAbrVACbVaJz/1aC5y+RrildgY5EdF/imq2FypGS8jtb4ZPaYEWbIdqtkIxmiHrzfBrTZBFiEdLMVqtn7d/vQVeuRmy1gmv0h6S1HYGORHR3WIHeHPIK7daXbcIaMVogU9tsEr8nNvfCJevEQOeBvS76+DyNcCrNEAxm6AF26CabZD1DivIJY1BTkR0V+h62ziXd63c766HTxVddZMV4mJM4pVF990O1WiNeOWGsCiXz/4oSgu2RdSA6MqbYX9sh09ph0/eBEntCHmlTQxyIqI7STHXJanGunCfe+3oeESMU/zqOgwffQjDR3eFho885Bg6ujPJ6W0YLa/SkCSrrQ5JawlZ4xSlHorRBsXogNvXDlndBq/UKUt617jE70lERLeJanQ4NKMj4vJVQ9LsLtwjtcIc3GGNRQaP7frFblpSWwoVoz3kkeohaaKTb4WkroNqdEGS14UVsysp8fcQEdFtIEYpbl+9rJnr4JPrIavNkJQWKNomqwP/dwEeI6tNDllvj/jkRsjiBajaBkleD8XoYogTEd0psVGKX2mBpNTDLzfC52+BMbgjIkYoiV9/K16lJUlSm8OK1gpJaYCstsLnFy9HGeJERHdMLMQ9/gZISp0V4pIiuuiWsJiBJ379rYgQl9XGsBFYB79cD0lpgl9u4TiFiOhOEiFuBFutEJc1O3xVfR0kuTEsgjnx62/l6NGuJEluCKtGG/yy+MegAX6xskVpY4gTEd0pdie+PuyVGqEajVD05ug8+7eF+JHjOxyy1hJRdDGWqYuOZhogqW0RWW761WMZIiL6DWIh7ldaYQZbIatiDNIUDfGGXxXix45tLzx67MGQGKWIebik1kHWxHhGvChth19qDElSy696QUpERL+Brm8cpxrrZc3cACNgh7gYqWh6Z0SsAU/8+kR2gG8PDQ5vgsdfawe3Fleq6MzbISnNDHIiojtBNdY7NGNDRIw/xDjFHom0QVJaQ7La4ZD0tptu1okF+NHjD0Y7eLsDF+Gt6OLPEh/FcsMW+CXx5zHIiYhuu9hIpd+5ForWYgW5pLRCNzZB1tojsrpeFmGuKC1JR4/utErMwO0A3wHxMlOMUezgjpUI8Lroj0V3L2btHVaQixm5mLfr3MlJRPTHiZGKT6qX3V7RTYuwbYKitUPR1lul6hugGxsjit4RlpXWsCS3ho8e2xExgxutLtv6enHeyk1DXHwUoxWxdFGEeRsktT0iK41hSW2VDWObwzS7kiR9IwOdiOj3Us0NhZLUHpLkDnh8jVC0DujGBmu5oSpOJhQrVhSxkUeMWpqtl5/WC1BFhHczVCMxxGNBfn1HLgLfJzXC42uyRiyqtjFiGNvCqr5BVlUelkVE9LuZ5qZCv9Qc8ksdEGFumJ1WxYe5boozUdogdmbGRi923SzExzpy1WiIlljGKD7as3fxj4Oqi+/zIFRtQ0hVNzDIiYh+LxHkhtEZ8ksb4JfEKGUTFK0TirYBiiaCXPxcB1RdnFIoRi/R8ctokNshHR/iqiFKBHl8iZ+zu3PxD4Kqb4RhbrOCfHBwP4OciOj3EkGuaptCTtd6DDg74PNtgqxshiSLYF8H0an75VZrfh4bq4jt+tbmHnEc7a1C3Ky5saxAFxuNRHe/Hqq2FYOD+0LB4B7H0NA+zsmJiH4PSdpQ6JPWyz5pfdgnrQtL8vqwLG+ySvxY0deFZaU5Wo1hv9wQsQ+/EqcYivCOdeT2OEXWqqHoa6GaiVUN1ai1xyxWR77B+gdjcHBvRNU3yezKiYh+J0naOM7rXZckSlE2JXkV+6NV5roksUzQroYksWxQkhtlzWiL6Gab/RLT2vAjArzWCnFZWw3FWAPFWDVaqrnGCnNFr4nOysWMfAMUdQsGh/ZB/H8EDHIiortAkhrGiXPFFa0xJMLY7sjF5p9bh7hdK60uXdFrrQ4+FuSqvhnDw3aQm+Z2BjkR0d0gqQ2FmtEaEksJ3b4a+KQaSGpNNMjXWGEeH+iyvgKytgqKLkYrsRm5WP3Sbr1YHRzabQU5lyASEd0lktRQKKn1spiVm8H11o5OvyyC3O7KJVWEuQjxNZD1lZB10ZGL0UpsRi5GK+JYXHvTkRl4EIODu0PB4EOOoaHd3BxERHSn6UMbx8lqvUOS62UjuD4idneK9eH2rFyEuQj1tVYXbof42IxcD9RCD9RDN5usrlwsaxTLHFWtM6IbXWFV75AlriknIrrzRJgbwfUOI7g+JEYk9tpysYoltpuzOtqF26UHRIhXR6sOutkI3WyGeGFqbzraBN0Qa8rbQ7K63sGunIjoLjDF1n61OSR2gIo7OO1LmUWI10bXjYslh7EQj5UI8loYwQaYg83Wcbn2gVvtkJWN0I0HI7K6QTbNrezKiYjuNEltKZTUJlmsL5fUhoi9iiW6NT8a5NeHuB3kRlAEeT2MoHjpKeblLdERi9iyvx2K2hkaHhbz8l3syomI7iSxFNEc2pQUDHY6goObrBuBxLpy3Wywxyejo5SxIDeCNVaQ64Eae15ujVhaoBvroGhiy/6DGBraHTGMLTLDnIjoLjEHNxVqRksoOLTJDmWz0Rqd2C82bwxz+3MR5GJWHj1IK3psrmFuxfDwbivMdWOrPDi4hyMWIqI7zTTbC3WjRQ4OdkZ3ezZYAW0ERVcuAjsxxKvtpYjW2St2kNsbhNZZF1noRheCg3sQHNwdMhnkRER33tCQuOuz1RqvmEFx3G2TvcTwJh15bBni2JpysRRRrF4RSxFFV74OstIJXd/OICciupvs8UpzKDi00QpmIyjCPDYLF9332FLE0SAfPQ0xukHIWlculiJ2WpuErHPKjfUOXgdHRHQXiPGKHeSbrFUo8XNy67As67wVsW0/unXfOh0xdrStOPZWrGARG4varAstDHMLjMC2iKqvl3npBBHRXaCaLYW60WTNycUNQH5Z7PAUB2TZG4PEDk+xXX80yGMlft06ETF2JZx48WkfcSu6ckXtCKnWBqE2duVERHeSmJOLZYi60ShLWk1ErF4RB2lJ6mpIanyIx1cszGPH24rgF+vQxS5RMS/faHXlsiq27bezKyciutNEmMtqjUNSa0Pi5aVfiR2gtco+/XA0wOOPtx0btdinI4oxi72Kxb5mbjMktTXEICciuksktbZQUqtDYhmiT1prdeRjR9vGOvP4EF8d9wJUzMvt0xGtCyuiFzSLIJfVDr70JCK6G0SQ+5W1IUVrgdu3Gj5ZjFbs88ljnbl9ImJ8iI+tZhmbmTda57eIkxF1oysicbxCRHR3iJeeXmmNdRWcuD1IBLlfWW0F9I2XTowFefzM3F6S2GS99BSHaRlml/XSk0FORHQX6HrbOJ9c4/BKa0NWkEsiwGPXwIkzyscunUi8Dk41RbCPXdAs1pXLagd0YyuDnIjobpKk2kIR5D6pAW5ftbUU0b4KLnbhxOq4Wbn4aNforHz0Ojj7hSeDnIjoLhNB7pdqQz5/C8TtQT6pLtqZXx/k1l2e+nIoxopokN+8Ixdb9g1jq7WeXDE38So4IqI7zWt15PWyV6oN+/x1EZ9UjwHXSrh9q6yZ+Y1BfuuOXMzIJXkDNL1LrCcPq/oG7vQkIrrTxDnlXm9Dkk+ud0hqi+yV6sPiomZxSbOkinl5fFceC3H7xWfsTs/Y2SuK1gFVF+eUb7WugtOMrpCsdjp0neeUExHdcZLUNs7rrbYC3SutCnmlZrh99tG19hJDcQZL7FLm2Bnl4rIJcQyuuKBCnL0SOxXRvkEo2pnL4l5PhjkR0V0iRi2S0hCyxiRKk3WmirWDM3polh3gsbI7cjvM7QuaxU5P+05QsdNTHKa1IyKr62XV3MQRCxHR3SBJDYWS2hLSAp2QxNpwrRGKuBnIjB1zmxjk4kIKO8zt88rFaYr2WeViXm4GdkAzNoVUo5NXwRER3Q32Jc0tIWNwK/xaGxSjBVqgMRraiWEe+7loWZ256Mrts8rFTk8zsA3BwZ0R3dgkm4Pb2ZUTEd1pYv23pHfI+uDWiKx3jJ5XPnaLUK11IbNddXFXxNl3etrz8rEbhHRjswhyUaFgcAe7ciKiO00f6hpnBLc4jMGtIb/SDo9fbBCKhnSgfjS8x8I8visXoxUxK7dffIpLmu3dnlaYWxdPsCsnIroLzMGthWr0gmYjuN463VCsFbeDXFR8iMfGLLFZuQjy2CoWsclI7Pi0L56wroPjunIiojsvdkGzojVGr4NrtYPc6soT5+Txs/L4F5+iWqwRi7hBSFE3wTAfZJATEd0t4mRE1Wi1unJZbYasiRl5bE6eGOQ1cfPyWJjbXbluijXl66wgF2ewiA1CvAqOiOguiF0HpxotITO4Hj7ZvkRCC9RDs8J6bBXL9S8/xeilEUYgNl6xD9MSQS7JW6JXwXFNORHRXWEObipUjYaQmJNLWhP8qrijM9aZx0I7/sVn7OdiG4RaYATEMsR18PnFgVpboKidIQY5EdFdIsYrktYeMoe2QBbLCY1WaGYzNLPR7rpvGeQixO0gF5uDdGODtWXfp26BVxUnI25xSLwKjojozpPMlkLZaJVlozUcGNwUXcEiNvyIsYn94nMsyOO68bhliCLIVV109J3waVtFRVR9i3z4MLtyIqI7TqwpN4c2JcliBYvREgoMbbbOLBe3CYkgH+vIY8sSYzU2WhEXO6umCPKNcEkb0D3QAVXbHBo+ssUxdIxdORHRXSFm5bLeJIuuXBczb+sgrWjnPbq2PLZRyA722C5PzWyDZq6DZm6EpG6wDtIaPmK/9OROTyKiu8RawTLc6RgMbQoFBtdbJxyKl57WIVnXBXn8Tk97CaL4WrEOPXRkCwaHN9srWLRO6IYI83aGORHR3TJ4WKxgaQ4NhjZBUuqtSyfGtu3HB3lsaeLY8bZGQKxeEUsRm6FoLdbWfcPcYm3bl+T18uDgLs7LiYjuNBHkdke+AX5ZBLm44k3MyRtgDoqPiR25vdPTvgrO3iRk7/Zsss8rVzYgOLhLVOj48T2OY8f2sSsnIrqTRJAHhzvlweHOiNVVW+eviAC/fhnijdv247bvW1v3RVcuDtOyNwnpRlckOLRLZpgTEd1hsTl5cHBDKDi0MTont1ev2Nvyx3Z63ljRX7tubfl6KJq433Mbjh3fEzl+fI987NgejliIiO4k0ZWL1SvBwY0Rv9xgn79ibQ6KLUVM3CAUH+yx88qbrfPKxRksuiGCfAsGh3bh2CO7rRHL0Ud3J4kylU2j5Y0r09yZxJejRES/k33+ynqHrNfLmtEesY6pjYa5ORg/YolVLMjjV7LErS/XO2AGN+P4I3usrtwwNocNvTWsq53WR1VtDUtyp1WK2mF99EqdXOlCRPRHxMLcHOwMWScb6mKXZ2zL/vWd+fXjlbHzyu0jcVshljIODW/G8HAXhga7YJpboGuboGuboWlboGibIcmd8EmiNkNRtyMY3BlR1Q7ZNLnShYjod7OPuG0JBQY7R7fsx84rj4X5TWfk1nglblmi2QxDb4auNUNVm6BrLTD0NmhaKxRxdK7SZJWitkLVxChmC4LBXaJCpsl5OhHR76aa7YWqIXZ6boxYSwlV+1agWFd+qxefRqB6tEyzGqYxVrq+FrpWDU1bDVVdYZWmrYSqrYaiVUNRG6EoHdD1BxnkRER/lG6tYFnvEGEeHN4YCQyKLfj2ckR7zfj1YxU7vNfADKyCGViJQGA5goGlCAaWQFMXQJbmQJZmQZFnQlVnQpFnwO93QJLmQFUrYRiroWn1ULV10LQHETR3hw4P7meQExH9EWJWfvzEDsexR7eHgqGNMIfa7cskRm8RsjtyI7AWRmA1zMAKBAIPIBhYhMHgHAwGZ8AwimEGinD4SAlOnpyO06cqcOJEBY4dK8fRo7MxNDQXgUAVdHMVNK0BirIOhrETqtrJICciuh2OPbq9UAT58RM7EDrSCXOw5brr4MZCfCkCgUoEAjMRDBTjyJEinDhZiGfOluLVi7PxzjsL8P57C/DW2wvx1luL8frrK/HUUwsxNDwHqr4Imi46cjFH70QwsAfDw/vloSFuHiIi+sMePb2r8OSph0InTz9sBbm9tLAehhkf4ktgBubBNKchNJyDxx7Lw6uvleHzLxbgm2/n49Kl+bj03Tx8991iXLmyEl99tRavvrYYxx+ZAVWbAd14AJpeC1Vtg6E/iOGhfZHh4f2OxGchIqLfQQT5iVMPySdPPRQ5+shmDA63wjBroRtiHr7aGosY5gwEg/k4eTIbL708BZ9/6cD3P8zFDz9W4Nr3pRi5Ng1Xr83A9z8sxMjVFfjiq9V4KbIER4/PhW4shKqJsYpY2bIJoeH9MPRt7MaJiG6XU6d2jTtx+iGH6MpPnOxCMNhorToxjVXWLNwwyhAK5eDcs3n48KMSXLo8Dde+n4KRaxkYuTYJV0bScXkkB5evFOHylTkYubYaH39ajaeeqYIZnAdFXW7Nxg1jI4aHdosQDw8NHUhKfA4iIvoDRFf+6MmtocNHN0LVxBLCFQiY82EaxTh6NAsvXsjD51+U4PJIAUauZuLKyP0YuZpklQjyKyPZ+O5KGa6MVOHTz1bg3POLEByaDUVdClWthWGsx/DQLgTNTQxxIqI7QXTkJ052RawVK9pKBM15CBhTcPxYBiIv5+KLL4oxcrUAV69mYOTK/bg6koRrIxNwdSQNIyNZGBkpwbXvF+Hrb8RIZTFCh+dAVhZD1aphGB0YGhTLDUWI72aIExHdbidObHEcProxIgfaIKurYRjzETCKcOxoBl66kIMvPi/B1ZEiXL06GSNXJuDayER8P5KMayOTcPVKNq5cKcW1a5X47nINXr24DIePzIWsVEGx/qxWBAObMTS4MxI0Ovlyk4jodtpvbi/cb2wP7Te3o1tpg0+vg2ZUwTRKMDyUiefO5eKLz2fg+2sO/HCtCFdH0q0O/NpIKq5eycLIlQJcuTITI1eX4vMv1uL8i0sxFJoX7cTXIBBoQTCwAQFxi5C5IWSam7hmnIjodqj17iqs9uwK1fRtQ3P/Jjwkb4TLbINkroBhzoShZ+Px0zn44P2ZuPLdPPz4/QxcG8m3uu+rYoxyRYxYKjAysgj//Ho53njzAZw8Pc96salqy6AbaxEINCEY7EAwINaMbxUzcgY5EdEfleuUCit694Uch/Zg/sHtqPE8hG36LvQENsNrbQCqgqZPQ2goF8+enYaPPpiFkcuL8NMPs/H9tXJcuzoV167NxA/fV+HKldX4+ONVeOqpOTAD02GYC6GbK2GY1TDMeqsbD5gd1kvOYGALTHNryDA6HbrexSWHRES/RYZLGpfjVh25TilU2NOH3AP7Mb13H5a496Nd3YvdgZ3oD66DHFgN1ZgHQy9GaCgPZ54oxLtvz8I3/1yAb7+Zg0vfzsClS5X46qsH8MH7S3H++UU4dnQmdH02DHOxdQaLHeK1MMTpieJERKPVetFpmp0IBLoihrFeNs0N7MqJiH6N1D6pMK3fJ+e41EiWS0JGnxvZTg+mDvRhpvMQVvn2Y6O2B3uNLfCYzVACq6Dp86GpJRg0C/DYqWK8eL4cr7xSgYuvluLixdl44YU5ePLJ2Tgmzk8ZnIdBsdvTWB4N8Jpo1UWDvNHqyk1x1rnSIYI8Ol5hkBMR3VKRpI9LHfA50vr8oVynjLR+PyYMSEhxSkhzych1eVDs7Mdc5wGs9e7FFnUHuvUN8JhNUIxVMM0qBI2ZGAyUYnhoCo4dLcLx4wU4dqwEhw9XYHhoFgaDC63TDoPmSgRM0YXHAlyU6MZFie39DfbLzqA4IGs9zOicfJi3AhERXW+GpI/LGpAdyb1eOc8pR3LcKlL6JSQ7FUxwa5jo0ZHs0THJLSHX7UXJQDcWuvahVdmDh/Xt6DU2wm80QzOrETSXIWAugmnMgWnMRCDgQCAwx1qOaIrxibkMhrEShti6f10XnhjmsSBvhhloh2GsQyCwxVqCaBgb5MHB7ezKiYjKJbMwY0CSp/q0SL5LQUqfDxP7/Zjo1jDBrWO8R0eS17QqxaMiwyOjwDmAioFDWOndh07lYew3d8JtboZfF7PsOuj6Guj6cuj6UujGEvujvgK6LsYua6Hp1dD0GuvjWPcdqxs7ckNcUmHNyUVXLrbn78Tw4M4Qg5yI/rJE950zIDsq/EaosM+H5AMDdoA7Favrnug1rAC/P1rjvSYmenWkejVku32Y6hrAAtdB1Lp3o9O7A/v8W+FUN0HR1kG1rmdrgGnWwzRrYZp11o91ox6qLqrBKkWrg2qtNxdXvYkSl0/EnVueEOSBQBt0vQ2q0m7d5SmC3B6v7EziiIWI/jJE950zIMkVfiNS7NOR6RSjExkT3aoV1BO8BiZEu+9YiCd5jWiI65jskVDo8mC2sxdLe3ejvvtB7PTsgG/oAIKhPRgK7cThww/i8OEuHD68BYcPb0YotAnDoc0IHdli1fDhzdYly6rRYt3tKa6Es467tZYt2jcJjXXk4oWnCPPofZ5GKwKmPV6RtQ0R3egKB4M75ODwQ5yXE9F/L9F9l/sMq/ue7jeRK15YOv1IcStWcIugFiU68Pgxivg1EeApHg1pbhXZLj8KB9yY0duDygO7UePaHfEO7g8HQ7uvq8OHt4VDoU6rDh/eHA4d2Rw2jPrwo6d2h0+c3BM5cWoPQke6YAY3QDVaoZstcUF+s/HK2OoVK8zNNqh6BxRtA3RDnLC4M6IbmxjmRPTfx5p993ut7nuKU8KkXi9SBvxIcslI8uq432taIxNRdnCbmOgxrErx6Ej1qMj0qMhySsjrc2NarxOVThcWOZ2hHe4dDu/QgSRR5tDuJHu8sTPp6NEuq4aGNiUdPbop6dHHdo/WiRN7HI+e2iPHAj0wuBmK1gpFt7tycUmzHdqJLzyv78x1sxm6CHOtA7qxWQQ5BocfssJ88PAuzsyJ6M+tzOq+VUfGgCdU7teQ2etCco/LWjo40athvNfA/T4D9/nM0SAXIT7RYyLZYyDVoyPNpSDDKSFnwIcipx+zvTJmeaVI5YBLXuR0/u6gPHVq37hYoIcObw0NDndB0cThWo3WJc12UMd35DcL8+iLT9PeIKRFw3wo9DAGQw+FGORE9KdVLqmFGb0uudyvRXL73Mgc8CLV6UeyW8F4jx3gIrxjJT63Zt9W920g3a0h06VCrBkv7PeiwunDfJcUmTLgk2f5ZMcMl3TbRhaPnt5TKKut8uBQV1gzWiO6KcYrIpwboBviNqEa6Eb1DTX28tMesYiXn2IVi25sRDC4g0FORH8+ovsulVVHRp8rVCZpyOxzI7Xfi2SnhInR+fd4b8DqukX3HavYy8s0r1gTrmLygIRCp4wKl4QFbhlrjeHQGmPYsVYfum3hHW/oWNe4oaNdScHhLQ7NaAnJajMUTaxqEUFeZy1JvD7E11o11p3HuvIWaxWLrm+AoW9FMLg9xDk5Ef0plES77zK/Fin2ykjv92BivxcTXLI1PrFfXoquOzga5LGXlyleA2ke0X0ryB6QUNTvwzy/LsIbjYOHQw2Dh+9aR3v48NZCzVgfEnNyv1wPRa2Hqtpry8fCXIT4mmiQ39iVG0abNV5R1U3Qta0RXV8vqyq37hPRPWiGJI3LH3Bbs+9Stw/J+w5Zs2+x8iRZjE48IsBFeIvgFhVEkjdglZh/p3oNZHh0THapyO/3o3TAj0q/jqbBI3c9wGNEkIdCXSHdWA9FbYaqNUIT68r12oQgt8M81pEHAvUIBsW6cnu8omntkKR1IsihaRtCqrqeJyMS0b1jhiQV5g+4ZIfPHyn2+JEhXl4O+DDRJUeXDopxyVh4x2qibxDJ3iDSPSYyXBpynQqKnAqmD0hYKptoHDwSaQoekf8TAR5z7NiuwqPHdoVCh7chOLgBgWC7NTIRG4diuz6v78hrEAjUWUEeCIht+7FNQu3R8cpmBPSuiCp3yKrU/h/7exERWUSATzrUG3L4/ChwipeXHivAx7tUe8elN4D7vUHc5x3E/d5BJPmGMMGqQaR4g0jzBpDlNpAzoKCoz4+5Hh0r5YDVfTcFjzgaho79xzvWRx/dX/joyX2ho8d3IXRkK4aHxUvLduhG4+isXBNb/a0wt89jsYM8Fub2qYi63gJNEzs+1yFgdEFVOkIMciL6jxDjE4dYIeJXQlN6BzCpuxepvU6kOP2Y4FZxn1vDfR6x+kQE+PUhLjpwEeDpHhHgJnL6ZBT1+DDfrWOFFIjMdev/0e77Zk6f7is8depQ6MTJfTh6bAeOHtuG4WGxyccesdirV8ZWsBgBEebVCATFeCVuXbneBFW8MJVboWudMI2tIdPcek/9XYnov1xun7cwp98ll7n9kYyDPUg51IdUpw/JLhHg9vJBsVU+FuKiExclRiixDlyMUCa7NOT3Kyjp9aPSa2KlZN4z3ffNWEH+eF/o1OluPHpiD44/ssPa6CMp4jwWcQaLqBrrNEVNHHMbWItAMHZSor2uXHTuY2HeAkXugKZ2hgxji0PXN96Tf28i+i9hvbzsdTuy+5yhmX4FOf0upPV7rO7bWjroESOU6Aae6Bz8Pp89C5/gDSDZE0Cq27TGJ7lOFUV9Eqb3yVguDWKZNBhaKZn3fEcaC/LTj/fhxMn9GA5tg6q3RzcIiaqHatRCNddCF914ILZy5fowtzvzZuh6q3XxhKptjEhquyyrHQ5FaUnii08iuq3E7Du31y3P9MuRMo+ErD430ge8SHGLtd8ykhICXIS36MTFjyd4xDGy4uWlgRynhqJ+BdMOeTD7kAfL/YORil5J/jMEeIwd5L3yqdPd4dOP9YaPHd8RkdV2SEqztW1f7PYUQa6ZoiuPX72SGOb2iEXTWyB+v6p3QlLbIj5pXdgnrZclicsRiegPinXfeX2e0EyPhNzufkzqcSK5z4uJLglJHrF5RywfFMfFik089sad+zziBEJxGqFhjU6yXDpyevzI3+dE6d5+zDrkjiyTgvIyOehYLt2ZzTt30qlTPeMee6wnSdSJE/sdw8PbZFVri/jlZkiK6MhFmNdDFUEet6bcMMWIpSZuVi7CvBGqJn5fi7XT0y+th6ZtgyK1hiSphUFORL+PPfv2yg6fGnH4VOT1eZDe67FOHhRb55NcY9vnxfkn98dC3CNOIjSss0/S3DomDyjI7/Fh2gE3ZuwdEB146M8a3rcyNNQ1bnh4m0NS14d8/hb4pMbRrjw2K7dXroiXnSLEE196NkHXm6GoLZCkFvj94sXnZivITZOXTxDRbzTDKxXmHRoIzfRKyOsesA6fynTJSHUpSHarSHKLDTzRSxtEcCecfSICfJJbQ9aAgoIeLxw9fji6/ZHi/S55mTT4XxtKg9YGoe0hWV0P3VxnHW9rz8pFkMcfphXtyAP25qD41SsizK1ZudwGn1ecxfJgyDC2cYMQEf17ZbGlgx4pVOGVkNndj/ReFya5Zfvcb7eGpOglDbHxSfzWeXErT5pbQ4ZbRY44+6TXi/KDLszu84eK97sdM3pu36FV96rDh7cXakZHKHRYrF5ZB0Vvjl48IY6ujZ2MGFtPbnfjdkc+dl65tXRRa7ZWsEhSBwx9W0SSOmR25UR0S+LUwTJJlcu9/kiR24tJPf1I6XdbLy+TPWPdt7193g7u2NnfsWNjxcFVWU4ZWd1uFOwfwOx+Pwp7PaGS/b//yNg/IxHkutEhDx/eETECG62zylVDnD0uwtwOcrGufCzIY1362FJEcfCWWMGiqq2QpQ6YxoPiajiOV4joekWSNK5cVh2ZHn+oXFKR0dOH5N5+JLu8mOiVMdEnXlzGXl7GwtteNpjkNpHs0pEuZt9uDdn9fuQcGEBJtxuz+v2Rgl6vXNDn/UuGjji1cHh4h0OMVwKDWyCLMFYboYmdntadn7EjbuPPKh87r1z8uujMA4FWaForJKkNmrrJPhUxuM0h5vCJ35OI/mIKvFLhFK8s5/e7IlO8fmR5/Eh1ezHR48MEr4zxPhXjrcsb7BAXYxT71p2AtWww1aVj0oCCnAEZxS4V090qFri1SIVLlRe41dt65veflejKxVnlgcEtEXu8Yt/rqUWPuI2F+di8PDHM661ZuTgVUVzSrCgbEAw+GFHV9RyvEP1Vie57ik92FHqVUEG/G6nd/UgR5564JUzwSBjvkZDkVTF+tAvXMMErbqHXrbl3qsdAhltDjltDfq8PU7vdWOjRMNWphsrdqmOeS//Lh3e8WFeuaC0hVV8Pv9xkLSsU17vZR9eKEUtsyWFimI/dIBQ7f0VT14uOnF050V+RmH2n9bvkKT45MsWnILXPhaQBD5Jcfoz3iDsvFYz3KRgvQnw0wDXrSNlUj2atOrFu3OnzI2dvL3J37MWcQ04s8KihcqfKzvAXSGpLoQhyw9wMSWmzZuViBYt9mUTsSrhYmI915Hanbq9gMY0W6FqL1ZXrqjiM68GIYYiXntwcRPRfTwT4ZKcnlLHvALKdHqS7xJGxPtzvtgNchLcIcbtUqyZ4VUz0qkjzqNaqk+wBGXk9PpQccmP2IWdkgUcNL3Sr8iIvA/zXEEEuxiu6sSkiq+sgNggpavQiCasrj7/fM+5QrWiXboo5udGEgNEKTRHnr7RZh2kZxtaQYYizynkGC9F/HbHzUry8rJDUUPq+A0gbcCHdKyHJ5cN9Lp/deUdLBPiEaE0UZS0vlKOXFUuY0utDWbcH0w95QmLuPd+rJHF88tuIoBXnpBjGppCibYCitUM3xVnloiuPH7GMjVVix9ya4uIJox4BoxGm3ghDb4FpdCBgbhJBHjGMDezKif6bWBcW97vkfKczkn7oEJL7+jHBI7pvH+5z+3G/9QLzxhAXAZ7sUZDmkqwAz+v3Y0q3B45ogLPz/uMktb1QVttlTd8Y0Y0NUMV545o4e9y+eOJmM3JTLEsUQS66cl1UPUy9CabRDsPYCNPcCk1tDw3yiFuiP7dY950x4AxNl1VM6unFhL5+JLm9uM8r4W8eP/7mlXF/XIDHQlwEeIpHwSSvWPftx+RDTkztdsHR7Y5M6fXKJYf+mssG7wQp2pUrantINzrh8zdDVpqgabHRyvUvPO0Qrx4tU6+BqdfBECtY9FboagcMrRODwS6+9CT6s7K77wG5QlIjBU4XMgZcSPP4MNHrx31uH/7X48d9Xtmq+PCOBbjowNPdCjIGfJh8cADFBwes7rv4kNtR1ONiKNwBoitXrVl5Z9jqzHVxP6e9g1OMVmJLEe0QXxtXNTDFz+t11nhFzMp1tdW6QWgw2BUx1A7ZCnOzK4mBTnSPE+uyy32yo8TpCZW4PMjs7UO604UUjx9JHjE6kawuXIR3YgceG6GkRkcoWf0+5PW6UXLIiRl9ntDUQ3+tXZf/CWJWbpqbklSj02EY7SHD6LCWFYrxiqaJez3Fi00xSol14iLExUd7xGIHuXjx2QxDb4OursdgcJsV5oPBrrCudsimuon/cyS611QNHRtXOXzcUeGV5WlOdyS7ZwAZ/U6kuNyY6PFivEesPpGu67pHf2x9Llu7M1M9Mia5/Mjs86Cwx4UZfV7k9bpCU/f38f/w7zJVbSnUxLpybR1kqQmK0mAFuXU7kFhyaMSCXAS4XXZHboe5CHLRkZtaBwL6RhjaZmhqlzUvV1Xe7Ul0z1g0eKwwq9ctV3jlSEGfG2kHxbZ5J1Lc9vgkySdZHXjii8tYJXtlpHllTHL7kdbjxOTuART3ezGj1xvJ7XXJBezA/2NiQW4YYgnhOshyPRRF7PKsh2HYLzftioV4tRXk1s8Zdkdu6qLsWbnka4cibRGBHlLZkRP9Z8W670XDx0LTvQqye5xWCKe7/EizRiMyknzXrzyJD3FrdOJVkOmRrVvqxe+f2udBeY87UtDjkqf0cv59LxBBrqodsiw3RHR9HXw+EeQN0PVGmGY9Ambd2GoVqzuPdeaiGxdBLubkYl15GwLiHwK/uNdTBLnoyLmunOg/QnTflcPH7e67x4msPg8y3RLSPLK1qkTcuCM278QvH7zuxaVXsb42yyMj3yVZo5OKXg8mdztDDO97jwhaVW11SFKTrOsdEVlqto6qFUfWmmYjAqNhPjZaGevSxZrysQ1CQXM9AmYnDH2LCPOIoW+R2ZUT3UUiwEX3XTl8HFNEcPe4rMuKx8Jb7LQUh1aJs09uXHWS5lWR4VGQ7ZKQ3ePC1IMDcDglq/vm6OTeZod5k0PTNoTEtntVFRdINMcFuR3cwUCs6hAM1CMYaEAw0Iig2Yyg2YagKc4o74CirIMmZuXa+pCqdjokqY3/eBPdKfHjk1IlgELZtC5rSHZJ1rZ4Ed73W9el6bjfJ0qzVqAkrvue7FaQPeDHlD4vHE4ZlZIZqpQNR5XEXZd/FvaIpTmk6xugyKIrF2vE7SC3Q1uE9y8FeYvVlYudnrq+3rqkWda2RiS1QxZLHRO/HxH9QeWSWTh5QJbL/YFIzoAfk5wS0r2aFd72RcWGdVVa7L7L+6zScF80xMXLSxH4k10ycnrcKOp2o0oKoLDPE1r0J7ppnsaoklhX3iQPDnZGAuZ6mCKUox25HdoiwKtvEeRNVpAHzXaYZoe17d+viGNyt0JSO0IMcqLbpEzSx5XLhqNCMkMVUgCZfT6k9ovRiYqkaOdt3XMZLfu2+ejFxdFOXAR4ultCrlvClAE/yno8qPIHrJ2XDPA/t2NDXeOODG9xHA5tDQ0NbUIg0AZTzL5NEdYiuGv+fUdutsEwW6HqHZDUdZC1zZDUdgY50R9V0CcV5vdLcrlTjRT0S8h2ik049kXF4j7L0YuKE8q+sFhc4KBaq1PSPRImO72Y2u/FPI/C8cl/ocOHtxaKID9yuAvB4DoEAi0IBBqtuzt/ebQiXnaKc1ea7UsntDbIaoc1XhHHABzj+StEv4+40iyj1xMqd6nI2D+A1G4PUp3ixaRuBfh9Hn20RsNb3H/piZ37rVq7LlP6XZh0sBcFB/uxyKeJJYQcn/yXigV5KLQNgeB6mIFWaz25WIZoh3d8xQV5QAS5OKdcBHkrxHZ/RW2Dqm9EyNgQeiK4w3FmaGfSmaFd/Eef6N8pc0nj8nt9jnKnGpo2IGHSQbH224s0l4qJ0YuKRWD/zTtWdoBrmOhWkeJSrBMHJ/d7kdPjRP6BXhTv68YDPg1LvCoD/L/csWPbC48c3iofPfpg5PDhrdZ4xXrhKY6uNWPhXWd16IFAPQIBcYenXeKccvtyipbRrlxRO3A8sDVy1FgXPh7YIj8xuOs/8r8//3rxzLh/PX8mSXxM/DWie0bWIWfh5B6XXO6WxAXDyOz1IK3fj9S4AI913yK8Yz+2A1yMWmRkOSXk9roxtceFuW4JS3xa5AGvGl7iVeXFPDr2L+HYsa5xR45scxw9uj107Oh2DAbWWTs37U0/DRgMNmIwKAI8FuR22eeXxw7carZelIpTEUPmRjwS2Ionh3bhicFdoWeMbY6zZlfSoz3VVg1tmp/0aMvs0Xp+VdFovVSUnlDJ0bI/vxirkriK+/zN6qqk12sqHXjhDGIlPhc/f93X36xKJlvf40xJXtKZeWUMf7pzxJGxOb1uh9hoU+6RrbXb6b1epDklpIj5d0IHHj9GGQtwcWCVF3k9LhQf7Lc676ndztASn+pY6lWSOP/+6xFd+bEjD8qHD28NDwY6IvbW+3oMmk04PNSCoWADBkWQX3cx81iYBwJiBUszQkYbjhnr8JixCWcD23Baao080lMdNrsWhEOdC8KPts4ZredXFVr10tTUcGRqevijspTwF9MnWT+2S/y8Xa9MnRR+tXhS+PWSjBvqtal2vV5TFX6jenHkjZrFGK3qxRHx87GvuVV94CgMv1I82apwWa78xPxyNjF0+5V7pcK0fq/VfRc5fZjU40JqnxfJTtkajyTFBXhieE9wiw5dQYZYOtjvRe6BPhQ8vB+Let3W6ISdN4mu/OjRnUlPnX7Iceb07tCZx3bj1LEtOB5sw7FAM46a9RiOnYoYiJ1ZXjvanYu5echswjGzFSf1Njwmt+KRnmoEuhZCWzcboc4FONE2F0cemILBihQcnnI/HiuagOempeGF4jS8PDUNkeJ0RMTH0UpFZGqK/bEoHa9OnYSL0zLwekkmXivOiCvxuV0Xp17/+XW/Ni0Tr06zP9pfa9cr0ybjpeJMnCrOwtD0KXhifkWIQU63jXVhg092VHiVUH5PP9K7+5HWHxfeYtNO9GXldStPPJq1tFCEd6pLnDgoIavHjfyD/XB0O7GwxxUpPtjP0Qnd4InTewrPP34wdP7xgzihteGYvw6PKjV4NFCPI8E6DAZEN25fAWePWuyXoMNmPY4EGnBMb8AJrQFP6s04q7fgWa0VkeAGvCu34/WdS3B+9RQ8N2MiIqXj8ffyVHw5fRIuTc/A5YoMXKnIwEhCXS3PxLXyLKt+qJiMHysm4+fp2fh5eg5+rsjFzxV5Vv1Unouf40p8/mNC/VCRi+/LcvBDWQ5+FB9LsnGtNBsj5bn4cMYUhMvzMDR7GkRHztEK/WG5fVJhTr9XrvDJkZx+F1K6B6xt82JViQhpO7DF5h17A0/8yhPr5aVbRrpLLBv0I6fXg4J9vZjV48KiXpc1PuHohG7ludP7rSB/0teGw/uW4sShpXjMvxanzTocM6oxaETPJw+KbtxeljgYqLW69cNGLY4ZtThh1OExvQ6Pa3V4UqtDRGnA++4afPLwEnzUVIb3FmXg0xnJ+OeMVFyenoqRilRcq0jF9+Wp+DGufi5Px89laUBpGlASq0lASUa0MoFpWb9cJXFVnHljTcvEN+W5eLU8D08uqEC4LC98Zv70pMT/LkS/Sq5LGpcz4HPkDvhD030KcgbE3NtnhfLE6NJBO7jNaBm4z63hfreK8S7VWh8u1olnDviR0+dFUa8HU/f2ig48kn+wX57Bc0/oV3jC1+p40tcWObx+Fh5pL8fpXQvwlGsVnlBrcVyvRUh04kExXhEd+fVBHjJrcSQa5kf1GhzVanBGrsZLUo0V5F8cWoVPN87B+8ty8fbcVLw/cyI+mjERnzgm4nNHMr50JOOr6XZ9PT0F31akYKQ8BT+XpdphPi3druJoTcuwqzj2cdIv19SEKp6Ey2XZeLMsG0/NL7VC/CxDnH4Pu/v2Wd13sZhji5UnVvetYqK1MScW3IHREL/PreN+t4YJYoOPU9w2L2bfPuR2u1Dc7USVV0elRwtViu6bt83Tr3TG25L0pLc1fLppBk6vLsCJxql4fNtsPN2/Ame0Opw06zAUiF44Ebi+Ix8SZdqBPmR17tV4RKvGU0o1XpZr8aHciH/0rcWHW+YisiYPLy2ehFcWpeO1hel4bV4q3hQ1NxVvzU3Fu3NS8d7sZCvgv56ejKsVqfiX6MxFRx4f5FNvUbf69aJoRT+/WjYZb5dm45n5ZXiFIU4xuT2ucXk9ziRRk3u8v1hZvbIjrU8KFbtk5IpzT/r8SOkXR8bqmGjtvIzvvu0QFz833iUCXEWqU8akPp81OinqdWNmvw9VXi0ypdct88Z5+q1EiJ9tmB0+1zAHzy7Nx5lV+Xi6tQzP7FyAswMrcUapwXGzBiFTnLsiglyMV+wfDyaU+LnDZjUe1atxRqnGebkGb0h1eLtvFV7dtRCRzbPwaudMvCZq/XS8sW463lw3HW91TMe7HdPxQft0fFpfik8fyMUns1LxRWkSLpdMjI5WfiGob1WxAB8N8knWbPyd0hycW1CBN0qzGeJ/deKc7az9hxz5PS65sHsgLCq/xxnO7vWGs/t94cxebzizV3wUJYVzBuTwVKcUyRW7LQ+5kdovIc1tINljYmI0rBM78CS3gQluHclOEeCiaxdLBz1wuBVr1yW7b/ojzjbMtkL8QvVsXJg3GReWFeCVxjKcXzcd57bPQ7h3KZ5Q1uKEXm0FuejK7YO0xioW7KJEmIuve0SvxmNaNcJyNc77qxHx24H+llSHd/11eM9Xhw+i9aGvDp946vClrxHf9lbjs865eHd5Lt6ZNRGflE/Ad2VixBIdrfyarvy6EE+LVizEc/CuCPH55XhmTmn47OwShvhfVdb+Q4Vp+3vk4t6ByJTuAeT3uJDT50N2vx9ZfT5k9YmPoiRk9YruWUaa6LhFOVUkO8WLSRHQovsWAR7rvq/vwCe6devrJw0oyOr1I2t3Lxx9Eop6XJEpvS523/SHvNfSkPTxstnhV1bMwIVpE/DqnEl4d0UhXqmeghfbSvH8jrk417cMT/nX4JRhd+XDph3WIrTNuLJn53awiyA/athd+WmtGk9qNXhGq8U5rRbPqXY9r9bivGLXS3ItXpVq8Y67Gn/vXolPt1fik5YKfLIsH5/PycC3Isinpfy2jnw0xFOBqWnWz4lOXIT42blleHZeefjR6haG+F9R1qG+wsz9h0JF3X1IfWgP0g/0ILPPjYwBLyZZ5YsrCZOc4iWkGIdEy61jgieACd4g7neJF5aiAxfBfWMHLn5fRr+C7G4f8va5UHHAgzXaI6HW4acca/Vj7L7pD4mF+NvLZuC1gvvxZvF4/H1uBt6uzMTFFTm40DgVL3TNxvnupQhLa/GE9SKzGkNi5UrADm8jPsSjFRu3iDA/YlZbv0cE+knNDnVRolN/XLXrSXktzvjX4Dn3KrzurcFnvkZ801uNkV3LcbllNr5ZmIuRsjQ7yGPdeGJoX1citEWJAE+JfoyFeC6enVfBEP+rEh345O6+0LS+AaQf6EZmnxM5Xj8yXS6k9vcgtfeQVWm93Ujr7UFKTy+SewYwsd9rzbRFMCdZZWC8O2CFuFVxIW534AZSXToy+hQUDmhYoBzBGv0RtAw/FWoZfJrdN90WIsTfaW0Mf7xsNj4pmIBPC8fjm/IUfDYjBR/OTsUbVRm4WDMFFzodeHZfJZ7xrsJjut2RDwXF0bYJnXh8RYNcjGDErNwKcqMGp81aqx4P1OEJsw5PmnXWPw6P6zV4UlqDc/61uCjV4mO5CSP+Vvx4qBbft87FyLwcXClJBoqjQX5DcCeGeCzAk0dDfKQkG++W5OH5BTNxcm0LQ/yvJjoDl6d29yNLBPiAE0WyF9NUJ4r9e1AiPYhS32aU+Tai3LcJ5d4tKPHtwBT3w8hyHUSyy4kJLi/GuxTrReV4l3hhaYe4CHRRE9wmUlwGMpwGsno15Oz1wtFjiPBGy/CZ91qGnuqMPc+6nqGk+Uu7orUzqeoOlPhzE+tWP/9rKvHPv12V+D0Sv+9vrcQ//3ZX4vdK/P6/thL/3H9Xq5Z2JbUs3ZTUVdWQZAV4W2PVu22NkX8smY1vi9JxeUoyfpqWgqulybhUNhGfzUzFRwszcHFlLp5tnopnd87Fs55VeFqtwQmjxhqZiPGKCOr4F5yxEj8fm5GLjvtppdoK6ed9a/GCdy1ejNZzvrU4K1db3f6TvlV42rUC592r8IGvAV+7m/Djw6twbXUpvi5PwQ9TJgDF9njk1hUf4hNHQ/xqaS7eLSnE8wvmihCPnFzbUiWCvGXVgaSlsVq6+6ZVxbqu7P8mO5MO9BxNWr78T3KqZUmPM6m4dyA8cdd+TO7pQ/ZADwr7t6PcvR4rBtvQ9XQHDlzYgJ4XW3DohTb0XNiI7lf2YPvzB7D80QMoUPYjxXkQSU43xjv9uN9pB7kV4i7RfQcwyRVAjjOAol4TpQd1lO3wYHaXGyseUtHRHUJ793CkozsUnr98R3jBsu3hBUu3hxc+sGO0KpftCFct2xlX+xM+v7HE74mv+D8vsRYs/f0V/z0WLz9gP+vSm1fs139N3a7nS3zGxP9OVt3kWW/4mrivS3zW2/G8iX/eLZ81WouXj9Wy5TvCK5dvC7ct6wyLDlwE+LttTfj7ghm4UpyJn0UAioC0ut1k/FSajCvlyfh4ViouLkrH+TW5eHZjBc7tWYiwawWe0mpw0qzFcaMax8waHAnYM/NYHdHXWmH/vNGAN5UGvNG9HK9tm4s3O2fhnXUOvNlWjlcai/FceynObpuFF/qW44LegPNanRXoF7zVeNffiO96ajHSNhdfzcnElSlJdjiLebd43utWoPxyiF8rK8CHFeV4du5CEeJWkLeu3BeuX90TXrZyX3jZyv031NLle8IPLNt9XS3+S9WeW9bSpQ+HFy/dEV7ywA55/6HD9/6EQIR4gas//D879qLQ3Y+C/odQuHctFruX4cC5Rpz+tA0XLm/Aq5eb8NK3LXj50jq8OLIHT383AM9HEtY+5UKu9yHcd2gfJvS7kTSgYYLTwASnidQBE5kDQeT3BVHcHUD5Xh3lXV6Ut/WgbO3DmL5yJ+as2IH5K3ZiwfLtmL90GxYs7cLCpduwcOmDWLh0OxY9sGO0KpftRNXyXb9Y4mviK/73J9ZCUUt/uRbEVeKvid8f/2yVS3ei6hdK/HrsmRKf82bP+1ufL7ESnzP++1j/rW7yjIm1eNmuG57/dj9v/HMm/vmiFi/fZT3HjbUTS1bswvIVO7FyxYNoX96JB5c0wb9gOc7Mm4f3Z5bjh9Ice2fj6MtAUclWmF8pnYh/TJ+I12ZPxPOL03G2Lh/hzdNx9tBiK2xFmIvRSKw7F4Eu6pRWjbN6Hd5Vm6w142+1VyBSmY7X56Xi/TmpeHd2Mt6aOQHPz52AJ5ek4el1pTjftxwvKrUIqzU461uLC75afDZQh5Hty/DPpYX4ZqoI8eTfFeI/lBfhY8dMPDOrCv4Zy7F1Vi2qF3VizfKdWLZqL5at3IelK8TH/dbHB5bvua6WLNv9Fy3xd98bV3vwgPj5pTuwqHITlq1Yh4OHjsj7eu7x93RT3AOOrO7eyP17DqDIuRfl/RuwxLkU+x9bibP/aMOH12rx+c9r8dWPD+CLH5bhH9eW4+8/tOFDPIRzPyo48LaMmdp23Le7C6l9TqQ4DaQOBJDmHEJu/xCmdg+idK+JWQ8HMH+HgYWbFSxsc2NhfS8qq7uxeM1BLF59AFUr96NyxV6rFq/ch8Ur92PJygNYsuIgFi/fP1ri81g9sOrQDRX/6/+2Vh7E4n9TVXGV+Gvi98c/y1JRKw9h2erum5b49Vs9401//ibfM7Hiny+xEp8z/r9T4rP9Uom/0wMrDo4+/y3/e9/k+RIr8Rn/3XPGnnX5mp4bniv286tWH8TaNQexftVO7HxgA7TKGjwzvxIfzXLgp9J8oDgrGoipY0FenAqUpOKnslR8VTER7ziScGHuRDyzdBKeaS3Gc3sW4QX3KmscckarsZYjipUsp/UanFNr8YpUi4+6V+KT9bPwxsJ0vDXtf/BR8f/i86l/w5cl4/FlaRLerRiP8xX/izNL0vDMFgdedK7EWaUGz/jF+KUG7ztr8d3+tbjU4MC3jnT8WBwNcbEz81eH+CRcK5uKjx2z8eycZTDm12NPVSdaV+5D/ZperKn2YPVaN1avFR/tWrXGjZWrndbH2I//muWKlvhv4In+eAArV3Vj6dKHsWptFw50HwmL0Upibt4zilw94zJcvXLKoT7rhWX+oU7MddZjx6PVOPdhC778uR2XfliEb644cPnKNFy6XIJvvivDZ98txD+u1eLlq3ug/30Aa4/twuTu7cjo7UVqv46MgUFkDgxjWu9hLOg9hhV9J9HY/wTa+86gs/cpdPU8jV09z+Dhnmewt+cs9nQ/c9Pa2/0M9h06e8dqb7f43r+/xO9P/DNvZ/3R54vVHX/O6LP+0ef9vc+5/+DT6D74FJR9j+DRvUN4ZfsAPmjswGfz5+OHablAkejERTBGu/HEMC9NxWUxXnFMxKuzJuDZqjQ811KMF3fNt7py8eLzjF5rLSkUgf6KUoe3B9bgg01z8MHiyfioIgnflU3ETxVpgHVWSipQZp+r8vH0CXhxfjLONU/FSweX4DmpGueUWjwl1eANVw3+2VuLq5sqMVKZj2slYpwiAvrXduLi8wxcLS3ChxWz8Py81XiyfhdOPxyC3nsWvfufwZ59z1m1d//zVu07cN6q/QdfZI3WBew/+JL144PdL+DAoXPYt+8JHOw+cu+HeLqzJynlYG846cAhZLp6kX+gGZWuFfA8U40P/tmIq/9aix++r8C1y4X48XI2vv8uB9e+y8e3l8rw1eUFeGtkI85824/eN/yoOuxEdt8hpPQqyOwPIKtnCDN6jmJj8CWoz3+L4y//iKGnv8HhJ7/B8ae+w8mnrlh1+umRW9ZjT4/g8aeuWvVE+NpNS/zaY2eujH5dYolfi6/TT14erVNPXsbJM7+/xO+P//NEnXziu1tW/NclPtfNnvGPPl+sEp8z8bl+TSX+PePrTj3nr33W0098i9Onv8Jzx97DB4++hR+Gn8G1XYfw9eIluFqUg38ViACPhviU5OtLhLkI8mnJuFqWjM/EeGVGEl6oSsezDVPwxMYynOtZiufNRms9+LNqLd701eLjnlX4asMcfDU/E19NG4+fp00ExOad0YOu0oDyNIyUJ+Pi9PsRXjoJz2+dhedcK/GcWoczSi1e8dTgc3cjfnhoJX5cVYqrFSK0o3Px+BAfDfObhHixHeIflM/E+flr8NKmAbwbjODlM9/iyRP/xLFHvsXR49/i+KOXrXr0xBWcODli1clTV1lWXcPJU9/bH09fxanTl3Dq1Bc4/fg7OP3YO2Gv98y9H+LjD+5HlqcbhQfrUeWsgu/ppfjo85W4MrIIP40U4afLOfjXd5Pw06UM/HgpC1cuTcE3l6bjgyuNuHD1EIKfGah/UkZe/wGk9srI6gsg+9AgFvQ+ikOPvo/TrwPn3gTOXPgZT7/wM8Ln/4WzL8Cqcy8Cz74EPHvhxnpOfHwReP7CrUv8+m+tc+L7Rr//M7+iYs+aWLE/J7HOnv/lzxOf52b1W57v9zxn4jPdqn7N1/3W57zV8yb+ufHP8Ev13Pl/4bnnfsDFJ7/A52c+xr+OPo+ruw7hy8oqjEzJxs+F0cOiRkM8xa7CFKAg+lGE57QUfF+Wgk8rJuKiYzzOVabi8do8PL+vEheMRnsTj1xj7cb88sBKfN1YgW9npOFy0f12qIp/DKwXqNGywjwZ75T+DWcXTMRz68vxXP9yPK/U4UmlFi/7avGJpxE/7F2LH2umY2S6eMboSCUxwG8IcbHE0A7xkdIivF82A+cXrEFksxMfH30D7134CS89+yPOngPCZ8dKfH7uWfsj61b1M849ew3nnvvMCvHHHnvv3g3xyd6epAxnTzjp4F5kOPdham8TFvYvhPOJxfjw81W4MlKJn64U4afvcvGv7zLw06VMK8SvfjcFl76rwIdXahG5uhvBT32of8KDfOc+pPZJmNwXQF5PCIu6j2O7dB7dgdfQr1/EgHoRbuU1uOSLcMdKeQ0e5XV4lDduKK/8y+VT37yhEr/ml0p8D/evqMTnSny+xGf4I/VbniuxEp/vTj6nKK/65g3P8FvqZs+Z+D1i5dfeumXJ6htQlIs44jmHp12P4429Et5r6sDHc2bjalE2MCUDmBLdqh4L8cJUuwqiH0WJgJyWipHyVHxcPgEXZk3A2TW5eHXfErxqNOGCVIML/mprO/0/dy/D5yun4Otp43G14G/Rl5LRzt4K2rEO//1p/4vn5k/E+Y4y+wWn2mB14iLEP/U14ft9a/F9zXRccfybELdeesZCXNRYiH9QMQvPzluJJ+t34KkDR/CI9jICyiuQlNchKW9CUt6GpLwTrXfhl96F1/8Oyyrx3+K96I/fgk96DV7vBfikJ+GVnry3O3ER4pme7nDyob3IdO5DUW8L5vUvRv9TK/HBN424+tNq/HS1HN9fysdPl7Lw46Vs/HgpF1e+K8G3V+bgvSvNOPvNw3C+1Ytlx3tQ4DqA9F4/8vpMTO0ZwoI9g1i9WcPKdh/WtPpQ0yahpkVCTZMfNY0+VI+W+PzXVW2TPFp1zcoNFf/rohJ/f3yJ7/trK/H3JladeJ4mGfXNyi+W+JrEZ0x83sTv/Vsq8blu9oy/5jkTnzm+Rp+1Sb7h+/+WSny+X3rGhhb1ltXYIqO5xYdtjb3ornsYQyva8MzCxXhverk9E5+aFRfiogsXoZ1mV0G0xI+jc+efS9LwTWky3piVgpeqC/HW/mV43Wy2jqN90V+Nv7tr8cXDS/H56iJ8XTYBI1PuB8RLydENOGMvTv9Vkoy3S/+Gc4tS8fyGCrzgXIkLWiPCah1e9dbic28Tvt9trxe3OvHYMsMbAjwa4vH/SFhLJzMwUjYVH82YjbNzl2Kwqgl9ax7ElsYetDX0obbRhdpGN+qa/KhvklDfKEdLiZbKatSiJf57yKhvcKO6phsNTQ/f+yGeIV5sDuyXJ3UfQKbzAPK62zDLuRo7T6/Csx/X46sf6zFybTaufDcN177Nw7VvC3Dt2yJc+m42vr66Eq9d2Qb9/b2oOboJuX2bkdO33zpjpbhXxeyeAJY8rGN+3T5ULN6KmVVdmLNkO+Yt3oF5i3di/uJdo7VgycP3dC1c8jAWLb59Jf68xO9xO+p2P+et6o8+v/j9C2/y5/7uqhJLwrpQPb8d62ZXo3f6IpyscOCd8hI7xIsnx41TUq8P8fiKBeW0NGsX5TszU/DymgK8uWcJXjOa8IJUY72YfMdbi7/vX45/NJXjm3mZuFQ6wZ6Jl9idvFUlqfihPBXfVCRbSw/P10/Bhd2L8IJcgxf1RpxV6vCmuxZf9tXiyqZKXKkqwFXxUjS24eeGAI+FeHyQR0O8vAgfzpiJZ+YthjxvFR6cV4fVC9qxeOF6zK3sxPyqLViwuAsLFm/DwqoHsbBqOxYt2YHKxTtRtXgXa7TEf48dqKzainkL1qFySTMaGh8ONzTsvndDXMhyH3JkOvdHUrt3o9DZhXJXE1ZIlegPL8PL/2zFlz/U4JsfVuDbkYX4dqQK315dii+vNeKzn7rw4vceDLznwzxtM5J2r0dO30EUDvhRdtCLsm09KK57EJkVazEhbzEmFS5DVtFKZBWuQFbBCmTlrcDk/JXILlg1WuJzUeLX7rWaHKvcm1dO/spfrFzxdxQ/voN/z1/zfOI5RCU+3y+V9fXR5xffI/H7/tb6d88Z/4yxH8cqr3D1jVWwHPkFD2BGzlxUphWjMzUHwfx8vFEy5foQFyU68lglhnisWy9Oww8lqfhwRipefiAbF7fNw0WpDi8r9XhWqcWrYrNO/xr848FFVjf+0cwUfF6WhG9KJ2KkNBmXy5KtH38sXpJW3I+zlal4duN0RPpX4bxWj/NKPc7LddYSw6/2rMQ3jQ5cmp2J78XqlOihVjcGeEKYx4X4lfIp+HDWTDw9dyEGHAtRXzgbFbnzUJS/ENmFVcguXIzswiXIKXwAOfkPILdgKfIKl9kfC5ZdV/mFy6+rxF//o5V/T9dS5OYvRm5+JTKzZiEn34HKxc33fojneXcn5XseDv/toS4UeB5GoasTxQeXYrm/Ev3PNeH819vx1vcP4fVLG/DapU144/KDuHj1EM5fccP8VEXrWRdKfNuRfmgXCgb6UOr0Y9YhD4rbd2DizBX4v9PL8X8lTcX/pJTib6nl+FtyGf53Yin+NrEU9yeXjZb4XNT/JpXc1vqf8dNuS/1vtP52i7ovqQT3Tyi9ZY2fWGaV+LveN+H2/z1F/S2pxHqOW1Xis1jPc5NnTSzxdeKZRYnvkfh9f2v9mueMPd+E5PIbamJqxXWVnFyKlAlTkX9fNsr/nwlo/dtEmDnZeK24AN8Xi80+k+2bc+JDvDD9xpoSDcnidPw8LQ3/mJ6KV+anI9Jahou9q3BRbsBzaj1e8NfiFW8tPuxbi0+3L8a7dSV4beEkvD47xere35qVgtdnJuOFeSkIV6bhqaYinNtbiRe91dbvf1GqQ8Rfh0/6avDtg0vw9epp+G56unU0wO8J8ZGKInwwawaenD0Xh0pmYGlaAXIm5CE9ZQqS0qZhQnopklJLkZRSggnRGp88DUkTRZX8Yo2fUHxbK+meq6lxVYTxSQW4f3we/t//bxLGT8iyQryq6h4/iyYW4kkPb0NW30PIce5AQV87SnqrsVyrRe+FHdDf2Qv51a2QX9sO5fWHoLzTj76LTjQ/0YO8/i1IP9CFPFcvivr74RjwYoVXx8IeZ2Rq7bZwRvna0cosWjla2fmrblmT81dalZm3/D9ek29VOXZl54u/y60rJ3/VDXW7/543PNtNni/xGcae5cZn/qXfYz/7Sut7JD7Hv6sbnjHhORO/V3zlFfxyObLnWNWZkh0O5uVFnp4/F29XFGNkShYw1b6LcizERWhPurGmRMu69iwN/yxPtQL5ldUFeG1npTX+eFkTY5U6PO+vxev+enwqt+DDg6vw6joHXqgpxEtrCvDy2kK8uLYAz9QV4txGB148uMwK/ud8NXhOrsMr/jq87anDVwfX4vKGBfh2SYF1mqEY44yeZHhDcN86xC+XF+K9WRV4at5cyAuqMOBYEKkvmB0uz5kXLspfYFV2wQPhnPyl4byCZTdW/rJwfsEvl/iaP1L5f4paOlo5+ZVW3Z+U2VNV1XBv79jMde0aN3n/Q/Lk/Q8hq/thTOp9GHnuh1Hk3YlS90bMlzqwSG7DIn8TFviaMc/bgjn+jXD4ujDFtROT+vcgq+8Acvv7MLW7F9MP9mKFV4us8GpVVT3OpKLqLqvSp1eP1uSiVWOV92tq6T1Yic94feX9ikr8PTd+jz9Sv/45Ep8l8dduVrfvmW/8s39PTZ8826oz82cnPTV3ruOzRXNCn1fOwbf5afhJrEARW+9/U4hPwkhZOj6enozXF2XijXYHPuhejbeVZryiNuGsJM4Mr0dEa8JrciMuDqzFKweX47UDy/H6wRV44+AKXDi0HOedq/G8rwZn5Vo866+xuvB3/I34xFmHS7uW40q9A5fmZeNHMUqJPwDrhuC+SYhH7+j8piwXr5cX4bkli3B+WWXkhaWVVcr8qqSGvNlWTc+bn5SXt5T1G0p033bd4wEek3VoV2HmoYdCeQd3I+3AQ5g8cAA5nm5k9z+EyYe2IPPARmQe2ICMA51I378Jafu3IWX/TqR278ckpxM5Ay7k9/Sjoqcfi3qdcPR75eW8lYf+gz6vnOX4vHJ25KucifghVxz1Gtu1GR2bJAZ4fIiLr5s6CT+XpFsXN3wwKw1vL8/HOxvn4O1DK/GW1IgLWhOeVetxRq7B01INnlXqrFC/oDZaJcL9Bb0J5/RGPKPU4Sl/Nc77avCavx4fu+vx1YHV+G79fFxeUojvykUoR9d9/9sATwjxkkz8szQbr5bm44VllThbNTss/iFL/O9BfwGxIC/sPYDkPTsx4YBYdtiLLFcfMl39yHD2W4Gd7nQj3elF+oAfGU4JGQN+TO52ovBgH6o8flR094WW8WYe+g/7R9XspM8rZ4e/zJ6AH/PERh5xfkrsTJKbBPjNgrw4Hf8qSbOOiv1odjreXJqL11or8Nb+5XhDabKCXFy8fMq/FieltTil1OC0Js4Qr8MTWh0e18SZ4vXWckIR8CLA33fV4tO9K/DZ+rn4cnkRrszIwA/WmSm/tLQwsa7vxEWIv1aWj+cemC+CPPz80vkM8b8qEeQZB/fLBT37I5kH9yPf48FklwcZAx7rdp+0fh/S+iWk99tXs2X3SSgckFDS68Z8pztS6fbJi7wSA5z+40SIf5k9ISw68RtC/Fad+GiQx15y2rfS/1SaZl0qYQX54my80VKBN/c8gNddNXhRFitW6qyzUJ6Ua/CEWmvtxhSbecJihKLU4RWlEe9KTdYI5e+7luDvLQ78fWk+vpiRjmvTohdCjC4fTAzsm1VciBdPGg3xc1VzoiFexRD/Kytz9YwrHeh1lA70hcoG+pC5Zw/SHt6NtL37kb73ANL3HkTmnkPIfOgACnYfwHynB5Uef6jS7XNUuSSOUOieMBbiohMXR89GQ/yXZuLXhXg0VMV4Q9y4U5qOyxXp+HzWJLy9IAMXVxfgjY2zra78fXcd3pOa8Ja/EW9IjXjDV4+3fPX4wNeIj72N+GKgDp/vXo5POmbjw5WF+GheBj6fnoLvYjf6iFn4LQM84URDUdbYJfoStHgSvinLwesixCtn45mFMxjiZCvp67O68owD+8Ppe0QdGK2M3QfD8wc8Vk2zLjZm9033li8nJyddzksJf5mdhB/zfyHEY+OT6yoW4rHQHAvya+Xp+EdFCt6ekYLXKjPxRm0xPtw4Fx89WIkPHqzEu9sr8X70xx9vXYRPN87Dp80OfLSiEB/Nz8QnjhR8WToRV4on4l9iSaH1MvNWIS4CPOPGII+9/BRH1kZD/I3yApxdOAuvlhcwxGmM6MpLnD1J6bsPjNZ8p3e0qrzeJHbfdC/6R15y0pfZSeEvsifgh3wRltEXm/EhfkN4x4d4LETHVqtg2iSgdBK+L5+Er8vT8HF5Mt6fkYIP5mXgg6ocfLAkF+8tzsH7i3Oszz+uzMEn8zLxyYw0fFo2Ef8sS8ZIaYo1nrGXE8YFeOKqFOtz8b3F+vboGvfEEmvfiyfha9GJVxTg7KKZeGV6UfhsFV9sEtGfnAjxz3JSwp/lpuCKmInHQtzanfkLIW51vnEl1piLEr9frDUvyQRKM/FTWSZGyibh27I0fFWWis/LU/FZeSo+LUvBP8pS8FlZivXz4tevlIsr1NLxU5n9j8ANN9tHO+rrAzoa0rHvH1/iWaznybKe6cvyXFysKER40Uw8P31q+CxXpxDRn91HeelJH+Snhz/MT8dX+aLzFVvvM28M7VgwFolNQVnR3Z1xNS1nrEqygZLJQOlk/FyShR9LsvB9aSaulmRgpCQDV0ozcLnU/ig+v1aSge9LMvBjSSZ+KsnEzyWZ+Jf4hyBWsTAeLdFZx0p8LkJaPENiZUefSawvz8Fn5YWiA8dTlbPsEGcnTkR/dm8WTbZC/M2pOfhgSha+LsnFpZIcfFc8ebQuF0/GlWnZVo2U5Fp1pSQXV0vzcS1a35cVWBcR25WPa+V5GCnNtassF1fi6rKo8jxcEV8jPpbZX5NY4nb6azdUTrSy436ci+/L8kbrh9HKxw9lBRgpLcDlskJ8OL0Y56cX4/GqOVaIP8YQJ6I/OxHib0zNDj9ZkIUzk1PwUmEGIgWTcLEwA6+JKsjA6wUZeCNabxZmWvVWYSbenpL1q+qtKVl4s+jflPiahBK/7/o/S3zPDLwzJQPvXleZeHdK1lgVZuG9wiy8H633CrPx/pQ8nC/KwyNT8hCaNwOPV86WT1XN43sqIvpze6sod9ybRdk9T+ZnhmN1oWBS+LWCSeHX88fqjYIMq94syAi/XZj5u+rNwszwG0X/pqJfl/h7Rb1TOCmhMsLvWD9/83q3IDv8fmFe+IPpU8Oi8xYVmucIiwA/vWg2V4oR0X+HM7kZ487kTU56KS/9uroYV2/+UhVNvsMlvodd7/27ypt8Q300vcgqMT4RxQ6ciIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiIiI6K76/wHeE4h4nu6VpwAAAABJRU5ErkJggg==)

如上二图所示。

### 高副低代

在含有高副的机构中，将高副虚拟地用低副替代称为高副低代。机构中常见的

几类高副低代方法分述如下。

#### 曲面高副接触

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 代换后杆1、杆2分别为原来的构件1与构件2，增加一个杆4替换原来的高副 | | |

#### 凸轮

##### 尖底凸轮

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 代换后杆1为原来的凸轮1，增加一个杆4替换原来的高副 | | |

##### 滚子凸轮

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 代换后杆1为原来的凸轮1，杆4为原来的滚子 | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 代换后杆1为原来的凸轮1，杆2为原来的滚子 | | |

##### 平底凸轮

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 代换后杆1为原来的凸轮1，杆4为原来的滚子 | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 代换后杆1为原来的凸轮1，杆2为原来的滚子 | | |

#### 滚子

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 代换后构件3为原来的滚子3 | | |

图示

AI 生成的内容可能不正确。滚子在曲面上运动时类似曲面高副接触的情况。

#### 齿轮

图示

AI 生成的内容可能不正确。

雷达图

AI 生成的内容可能不正确。

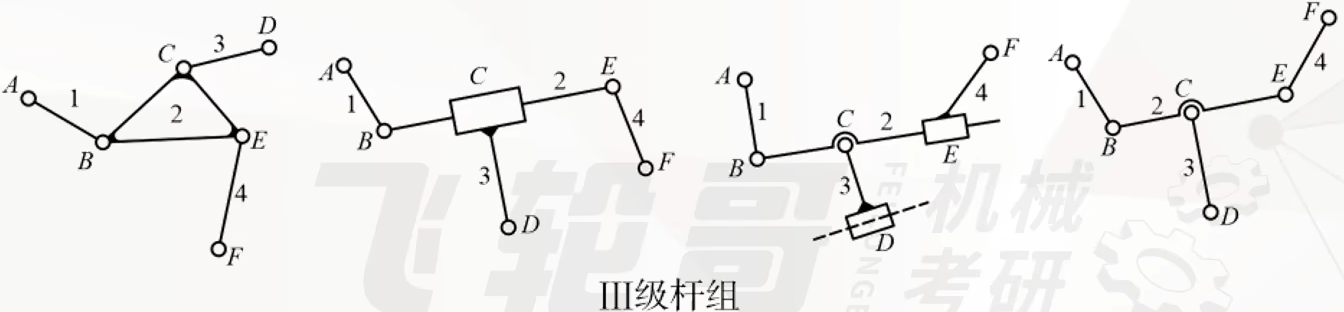
此处两个红色角都为直角

### 杆组拆分

#### 基本杆组

自由度为零且不能再拆分的构件系统称为基本杆组。最简单的基本杆组由两个构件和三个运动副组成，称为Ⅱ级杆组。图示

AI 生成的内容可能不正确。

四个构件和六个运动副构成的基本杆组为III级组

机构的级别即为机构中基本杆组的最高级别。

#### 三角架拆分

#### 基本步骤

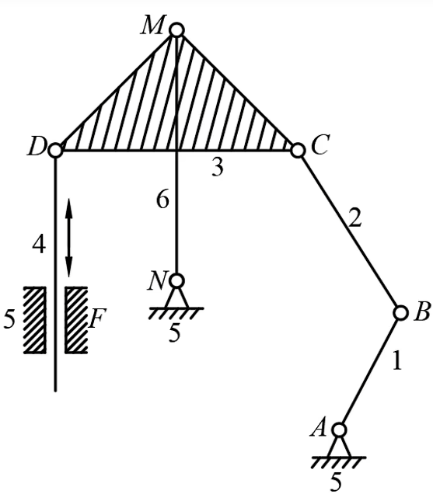
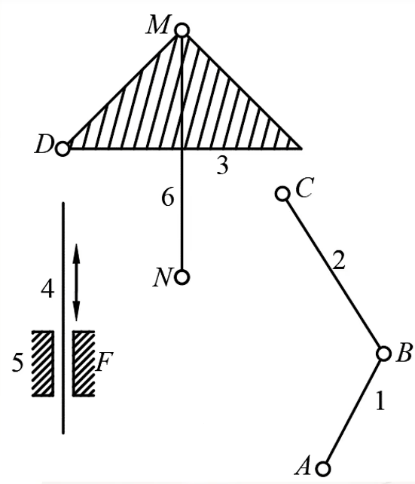
(1) 首先去除机构中的虚约束并对局部自由度进行处理

(2) 计算机构的自由度并确定原动件;

(3) 然后对机构进行高副低代;

(4) 拆分时先将原动件拆下，之后从原动件部分开始试拆杆组，首先考虑II级组，拆下的杆组是自由度为零的基本杆组。

注：机构中仅原动件的机架需要保留。



图示, 示意图

AI 生成的内容可能不正确。图示

AI 生成的内容可能不正确。

注意：该题中E点为复合铰链，拆分时要记为两个转动副

### 机构运动简图绘制

#### 基本步骤

1. 找出图中的机架
2. 找到与机架直接相连的构件1、2，判定其与机架通过转动副还是移动副连接
3. 抽象、简化构建1、2，画出相应的运动副
4. 找到跟构件1、2直接相连的构件3、4，并重复上述步骤2。

#### 例题：唧筒机构

如图1，先找到机架为4，其与1通过转动副连接，与3通过移动副连接且始终与3 的方向位于同一直线，可抽象为图2。最后再来看与1、3相连的构件2.可知2与1、3都通过转动副连接，最终抽象为图3。

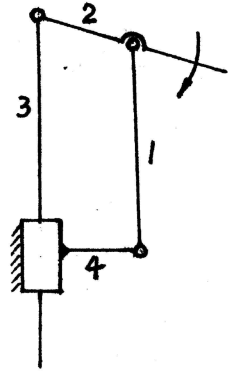


图3

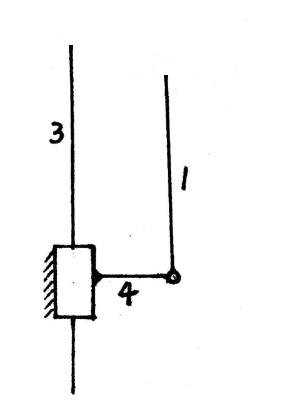


图2

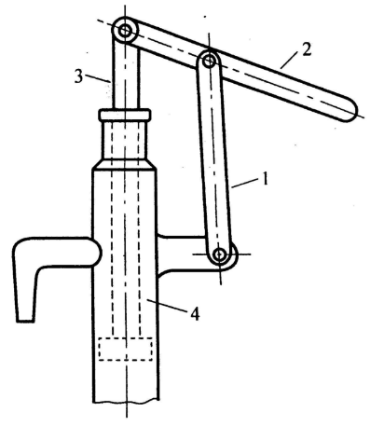


图1

#### 图示, 工程绘图 AI 生成的内容可能不正确。例题：偏心油泵

右图偏心油泵中间部分的运动形式与下图机构相同

（当A点是机架而C点不是）

1. 圆球球心绕A运动
2. 直杆所在直线上固定一点为球心

A点为机架，圆AC（原图的AB）可以简化为杆，通过转动副与直杆相连，直杆通过移动副与构件3相连，3通过转动副与机架相连。

得到最终答案（右图）。图示

AI 生成的内容可能不正确。

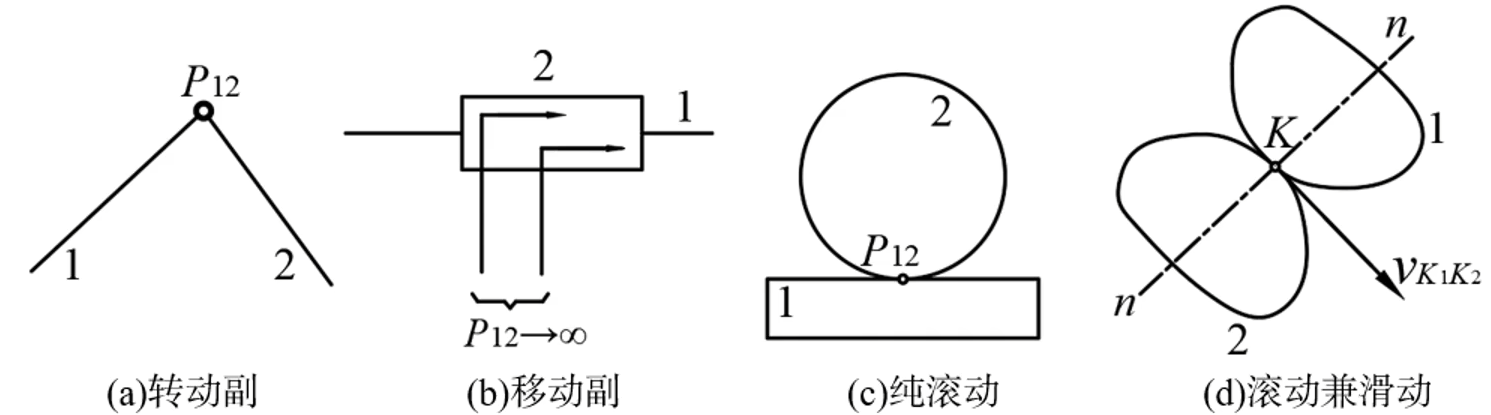
## 平面机构运动分析

### 速度瞬心法

#### 速度瞬心

相对速度瞬心是两构件上相对速度为0的重合点，或者说是瞬时绝对速度相同的重合点。绝对速度瞬心就是构件上绝对速度为0的点。

构件和构件的相对速度瞬心一般用符号表示



对于直接接触的形成转动副的二构件，由定义可知其速度瞬心为转动副。如图(a)。

对于移动副，其速度瞬心在垂直于移动副导路的无穷远处。移动副的瞬心可以进行平移，效果相同。

对于纯滚动的高副，两构件的接触点即为两构件的瞬心。

对于滚动兼滑动的高副，瞬心在两构件接触点的公法线上，但不能确定其具体位置。

一般默认高副为滚动兼滑动的。齿轮一般为纯滚动，凸轮一般为滚动兼滑动。

#### 三心定理

作平面平行运动的三个构件共有三个瞬心，它们位于同直线上。

图示

AI 生成的内容可能不正确。图表, 图示, 折线图

AI 生成的内容可能不正确。

#### 图片包含 灯光, 线, 挂, 交通 AI 生成的内容可能不正确。瞬心法求解速度和角速度

已知，求

瞬心的定义是两构件上速度相同的点。



即可求出。

从而我们可以得到一个普遍性的公式

对于任意两活动构件1,2,以及机架3

有



图示

AI 生成的内容可能不正确。已知，求图示凸轮机构中构件2的运动速度

显然

### 相对运动图解法（矢量图解法）

#### 同一构件

在理论力学中我们学过，对于同一刚体（构件）上两点，其速度的关系为



加速度的关系为



#### 移动副两构件上瞬时重合点

图示

AI 生成的内容可能不正确。在理论力学中我们学过，绝对运动是相对运动和牵连运动的矢量和，体现在移动副两构件上瞬时重合点间的运动关系即为



加速度的关系为



其中为科氏加速度



其中为动系绕定轴转动的角速度矢量（这里就是杆的角速度矢量）。

也可以这么说：的大小是，方向为沿着（顺/逆时针）的方向旋转。

当两构件通过移动副连接时，则这两个构件的角速度和角加速度大小和方向均相同。

#### 例题1（展示一般求解过程）

图示

AI 生成的内容可能不正确。已知一机构如图所示，已知原动件等角速度转动且转动角速度为，试求的大小与方向。

经过测量可以得出

（假设是这样）

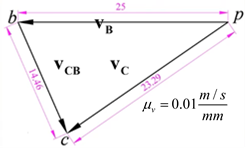
也即





|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| 方向 |  |  |  |
| 大小 |  |  |  |

据此可以画出速度矢量图（右图）

点为画图的起点，也称为**极点，**由出发的指向的有向线段即为点的速度，以此类推。

由图可知



可以求得

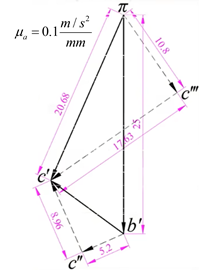
，方向为顺时针

，方向为逆时针



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| 方向 |  |  |  |  |  |
| 大小 |  |  |  |  |  |

可以求得



据此可以画出加速度矢量图（右图）

（这里认为两点都是求的过程量因此这样标）

量出



方向都为逆时针

#### 图示 AI 生成的内容可能不正确。速度影像法

机构中某个构件上的点形成的图形，与速度和加速度矢量图中的图形应该是对应相似的。

如果上题中构件2不是杆而是如右图所示的三角形BCE，那么会有速度三角形中

图示

AI 生成的内容可能不正确。

图示

AI 生成的内容可能不正确。不妨看看右图，对于相似三角形，点有四种可能。其中从对应就可以排除掉，速度影像法还要求顺时针读顶点的顺序一样，原图中顺时针读为，速度矢量图中点若在则顺序为，与上述不符。而则满足题意。从而得到了正确的速度矢量图。

对线段上的点也适用。某个构件上某个点在速度矢量图中有，可以认为是三角形的极限情况。

#### 文本 AI 生成的内容可能不正确。重合点的选取



#### 卡通人物 AI 生成的内容可能不正确。例题2

已知各杆长，构件1逆时针匀速转动，其角速度已知。求此时构件5的速度。

思路：求构件5的速度就是求E的速度，找到构件3的绝对瞬心（），从而问题转化为求解构件3的角速度。图片包含 图示

AI 生成的内容可能不正确。

## 平面机构力分析

### 运动副中的反力

#### 移动副

构件手机屏幕的截图

AI 生成的内容可能不正确。2对构件1的力与速度方向成角

即与成角

其中为摩擦角

#### 图示, 工程绘图 AI 生成的内容可能不正确。转动副

构件2对构件1的力切于摩擦圆

其中摩擦圆半径

为当量摩擦系数

是发生转动时阻碍转动副转动的力，也就是说，其产生力矩与的方向应该相反。也可以说产生的力矩与方向相同（下标相同，方向相同）

#### 图示 AI 生成的内容可能不正确。二力杆

#### 例题1

手机屏幕的截图

AI 生成的内容可能不正确。已知各构件的尺寸、各转动副的半径和当量摩擦系数、作用在构件3上的工作阻力及其作用位置，求作用在曲柄1上的驱动力矩 (不计重力和惯性力)。

手机屏幕的截图

AI 生成的内容可能不正确。解：

1. 根据已知条件画摩擦圆。
2. 作二力杆反力的作用线

由二力杆的性质，可以知道等大反向，只能是在与两摩擦圆同时相切的一条直线上。由的方向可以写出的方向，由产生力矩的方向与相反就可以找到的确切方向，如图。

1. 图示

   AI 生成的内容可能不正确。分析其它构件的受力状况
2. 由求出（绘图）



即可求出。

#### 高副

高副的情况与移动副相同。

一般研究顺序如下：二力杆、三力构件、带有力矩的构件。

### 机械效率

在机械运转时,设作用在机械上的驱动功(输入功)为,有效功(输出功)为,损失功为则在机械稳定运转时,有



机械的输出功与输入功之比称为机械效率



按机械匀速运转考虑，也可以用功率表示



图示, 形状

AI 生成的内容可能不正确。简化机械装置如右图：为驱动力，为生产阻力，和分别为和的作用点沿该力作用线方向的分速度。

#### 生产阻力一定

对于没有摩擦的理想机械，生产阻力一定时，有



这里被称为理想驱动力。

实际的机械效率：



即机械效率等于不计摩擦时克服生产阻力所需的理想驱动力与克服同样生产阻力(连同克服摩擦力)时该机械实际所需的驱动力之比。

#### 驱动力一定

对于没有摩擦的理想机械，驱动力一定时，有



这里被称为理想生产阻力。

实际的机械效率：

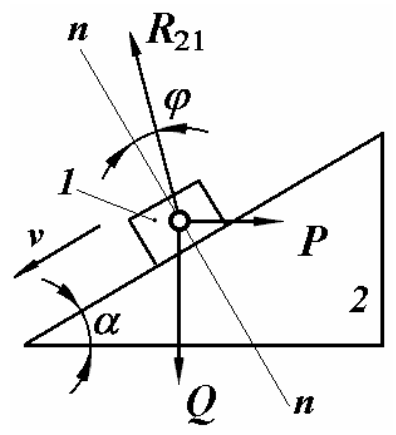


#### 图片包含 游戏机, 物体, 天线, 鸟 AI 生成的内容可能不正确。斜面的机械效率

滑块向上匀速滑动时

重力在斜面上的分力为生产阻力且不变，施加的力在斜面上的分力为驱动力。

根据以上理论，



滑块向下匀速滑动时

重力在斜面上的分力变为**驱动力**且不变，施加的力在斜面上的分力为生产阻力。

根据以上理论，



#### 机械效率的串联与并联

* 串联时

图示

AI 生成的内容可能不正确。

* 图示

  AI 生成的内容可能不正确。并联时



### 机械的自锁

图示

AI 生成的内容可能不正确。由于摩擦的存在,会出现无论驱动力如何增大,也无法使机械运动的现象,这种现象称为机械的自锁。

#### 移动副

在移动副中滑块上的驱动力作用在其摩擦角之内(即)则发生自锁。

#### 图示, 工程绘图 AI 生成的内容可能不正确。转动副

转动副发生自锁的条件为:作用在轴颈上的驱动力为单力,且作用于摩擦圆之内,即。

#### 任意机械

任意机械发生自锁的条件机械效率。

## 平面连杆机构

### 铰链四杆机构基本概念

#### 连架杆

直接与机架相连的杆件

#### 连杆

除机架外的非连架杆

#### 曲柄

机构中可以转动的杆件

#### 摇杆

机构中不能转动的杆件

#### 周转副/整转副

曲柄两端的转动副称为周转副

#### 摆转副

摇杆两端的转动副称为摆转副

### 铰链四杆机构的形式

#### [机械设计中必须掌握的铰链四杆机构！](图片1.gif)曲柄摇杆机构

两根连架杆一根是曲柄，一根是摇杆

#### 【看动图学机械】5分钟搞懂四杆机构运动规律 - 知乎双曲柄机构

两根连架杆都是曲柄

#### 033 双摇杆机构 - 机械基础虚拟实验室双摇杆机构

两根连架杆都是摇杆

### 铰链四杆机构运动特性

#### 杆长条件

铰链四杆机构中

最短杆长度+最长杆长度≤其余两杆长度之和

#### 周转副的充要条件

铰链四杆机构中某回转副成为整转副的充要条件是：

1）各杆长度满足杆长条件。

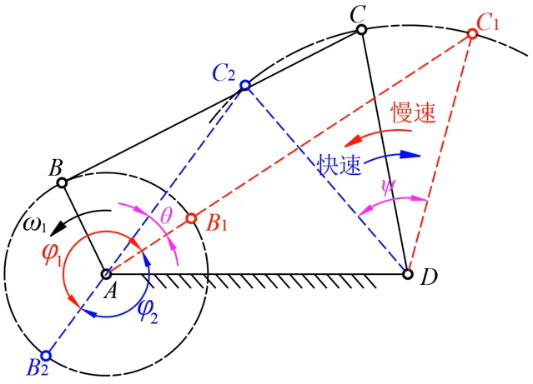
2）构成此回转副的两构件中有一个为最短构件。

#### 判断铰链四杆机构类型

1. 判断是否满足杆长条件。如果不满足杆长条件则没有周转副，必为双摇杆机构
2. 若满足杆长条件，由周转副的充要条件易知，当最短边为机架时机架相连的两转动副都是周转副，为双曲柄机构。
3. 当满足杆长条件，且最短边为连架杆时，机构为曲柄摇杆机构
4. 当满足杆长条件，且最短边为连杆时，机构为双摇杆机构
5. 当有两杆最短时以同样的方法判断周转副即可。
6. 四杆最短时显然必为双曲柄。

### 曲柄摇杆机构的急回特性

#### 极位

摇杆运动到两极限位置时机构的运动状态。

对于右图所示曲柄摇杆机构而言，记，则有，等号在三点共线的两个位置取。

#### 摆角

摇杆的极位之间的夹角即为摆角

#### 极位夹角

曲柄在两极位的夹角即为极位夹角

#### 快慢行程与行程数比系数

当曲柄从运动到时，转过的角度为，从运动到时，转过的角度为。曲柄通常是原动件，匀速转动，因此从运动到的行程为慢行程，从运动到的行程为快行程。

行程数比系数为快行程与慢行程平均速度的比值。



从而有



#### 如何计算极位夹角与摆角

，两角都可以通过余弦定理解出。

同理，。

#### 图示 AI 生成的内容可能不正确。压力角与传动角

压力角即为连杆给从动连架杆的压力与从动连架杆的速度的夹角（锐角）。

假设曲柄为原动件，由于为二力杆，可知对的力的方向在直线上。将这个力分解为方向及其法向，那么与点速度方向的夹角即为压力角，它的余角为传动角。即

#### 最大压力角

由定义易知



由余弦定理



其中只有在变化。由三角形两边之和大于第三边



如上图中红色和蓝色两个位置。

由余弦函数性质，在红色位置最大，在蓝色位置最小。

可知，其中为两个极限位置（不是极位，注意区分）

也就有。

#### 图表, 雷达图 AI 生成的内容可能不正确。死点

压力角为的位置即为死点。此时主动件给从动件的压力与从动杆的方向完全相同，从动杆无法转动。曲柄摇杆机构的死点在摇杆为主动件时为**原来当曲柄为主动件时的极位**，同时当曲柄为主动件时机构不存在死点。

### 曲柄滑块机构的急回特性

#### 极位

图示

AI 生成的内容可能不正确。滑块运动到两极限位置时机构的状态即为极位。记，则有，等号在三点共线的两个位置取。

#### 杆长关系

斜边大于直角边，即

#### 极位夹角

曲柄在两极位的夹角即为极位夹角

#### 快慢行程与行程数比系数

当曲柄从运动到时，转过的角度为，从运动到时，转过的角度为。曲柄通常是原动件，匀速转动，因此从运动到的行程为慢行程，从运动到的行程为快行程。

行程数比系数为快行程与慢行程平均速度的比值。



从而有



#### 如何计算极位夹角与行程





#### 压力角与传动角

压力角即为图中的，传动角为

设点到移动副导路的距离为，则有



由此，可知最大压力角为

#### 死点

曲柄作为原动件时不存在死点，滑块作为原动件时存在死点。

曲柄滑块机构的死点在滑块为主动件时为**原来当曲柄为主动件时的极位。**

### 摆动导杆机构的急回特性

#### 图表, 雷达图 AI 生成的内容可能不正确。图表, 雷达图 AI 生成的内容可能不正确。极位

摇杆摆动到两极限位置时即为死点。

#### 杆长关系

记，则有。如果，根据四杆机构的判断准则可知会出现两个曲柄。

#### 极位夹角与摆角

通过几何关系可以知道

而。考试时也可以通过量角器量得。

#### 行程数比系数



#### 压力角与传动角

这里从动杆是，连杆相当于是滑块，滑块对从动杆的力总是垂直于从动杆，即与从动杆运动方向相同，因此恒有

#### 死点

曲柄作为原动件时不存在死点，摇杆作为原动件时存在死点。

摆动导杆机构的死点在摇杆为主动件时为**原来当曲柄为主动件时的极位。**

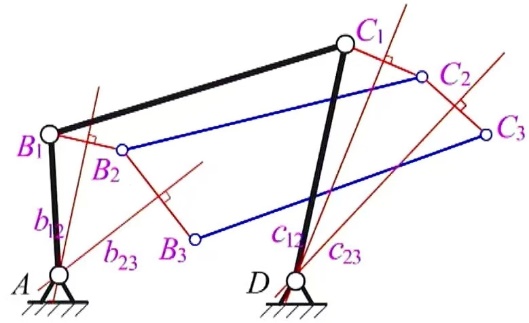
### 平面四杆机构的设计

#### 按连杆预定的位置设计

##### 已知连杆两端点位置，确定机架位置

图示

AI 生成的内容可能不正确。在机构运动过程中连杆经过三个位置，要求确定固定铰链中心的位置。

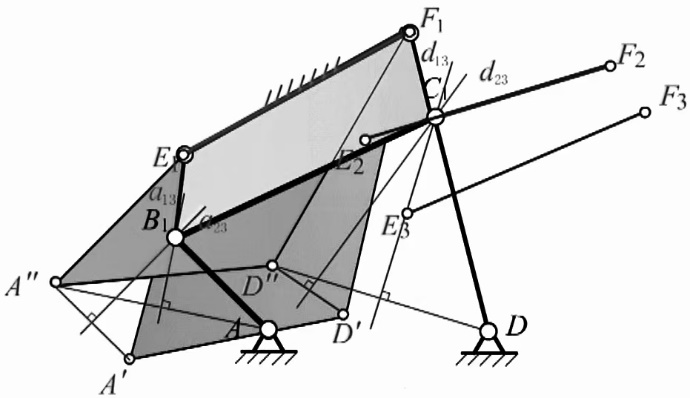
显然，

点围绕着转，点围绕着转，也即在以为圆心的圆上，在以为圆心的圆上。因此，分别作的中垂线，其交点即为的位置。点同理。

##### 图示 AI 生成的内容可能不正确。已知机架位置和连杆上两点位置，求连杆的位置

此类问题采用**转换机架法**。将作为机架，则就成为连杆。

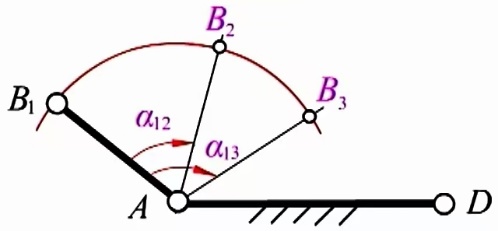
将的位置作为机架，做四边形



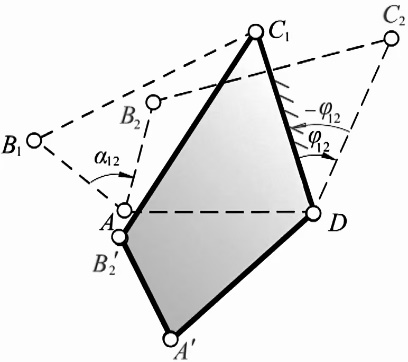
由于此时为机架，此时可以使用前一种方法（做垂直平分线）来求出的具体位置

#### 按预定的角位移设计

##### 给定两对对应角位移

设已知四杆机构机架长度为，杆长度为，要求原动件和从动件顺时针依次顺序转过对应角度、，、。试设计此四杆机构。

此类问题采用**转换机架法**。将杆作为机架。这样，将原求活动铰链C的位置问题转化为求固定铰链C的问题。



如右图，若以作为机架，做，显然有的垂直平分线过点。

图表, 雷达图

AI 生成的内容可能不正确。实际上在这种新选取的机架有一点为原来的机架的情况下，做全等四边形只需要进行旋转，因此在画图时仅旋转有效边（此题中为）即可。也就是说，将边旋转角度即可，而不必画出全等四边形。

回到原题，当以为机架时，将边旋转角度，将边旋转角度，得到，通过做垂直平分线的方法即可求得点。

##### 给定三对对应角位移

图示

AI 生成的内容可能不正确。设已知四杆机构机架长度为，要求原动件和从动件逆时针依次顺序转过对应角度、，、，、。试设计此四杆机构。

图示

AI 生成的内容可能不正确。此设计若采用前述方法，因为杆长度不确定，可能因铰链的四个点位不在同一圆周上而无解。这时，需设法将上述四个点位缩减为三个点位（使重合）以获得求解，这种方法称为点位归并法。

由重合，知其长度相等。从而取图中

从而就成为的角平分线，易知此时，有

用上一种情况的方法对进行旋转。重合，从而用三个点之间的垂直平分线求出点。

#### 图示, 形状 AI 生成的内容可能不正确。按急回特性设计

##### 曲柄摇杆机构

图表, 雷达图

AI 生成的内容可能不正确。设已知摇杆的长度、摆角及行程速度变化系数，试设计此曲柄摇杆机构。



如右图，两极位时的夹角为

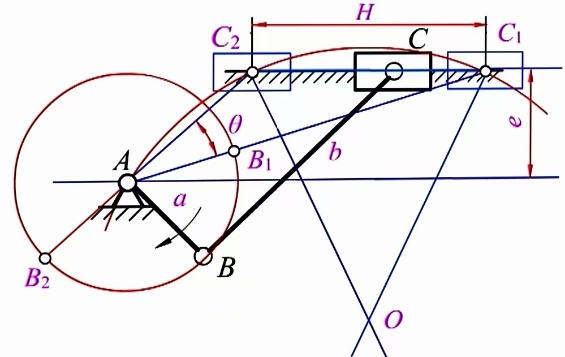
图示

AI 生成的内容可能不正确。以为直角边作的直角三角形，并作其外接圆，则在此圆上的点恒有。如果有其他条件可以求出具体的点位置

设曲柄长度为，连杆长度为

易知即可求出

##### 图示 AI 生成的内容可能不正确。曲柄滑块机构

设已知行程、偏距及行程速度变化系数，试设计此曲柄滑块机构。



滑块的两极位为

作使得

则有

由圆心角是圆周角的两倍，可知对于任意在圆上的点，有

由偏距为可以求出的具体位置。同理有

##### 图表, 雷达图 AI 生成的内容可能不正确。摆动导杆机构

设已知机架长度和行程速度变化系数。



以机架为角平分线，做

过作两摇杆的垂线即为曲柄。

## 凸轮机构及其设计

### 凸轮的分类

#### 对心直动从动件尖底凸轮机构

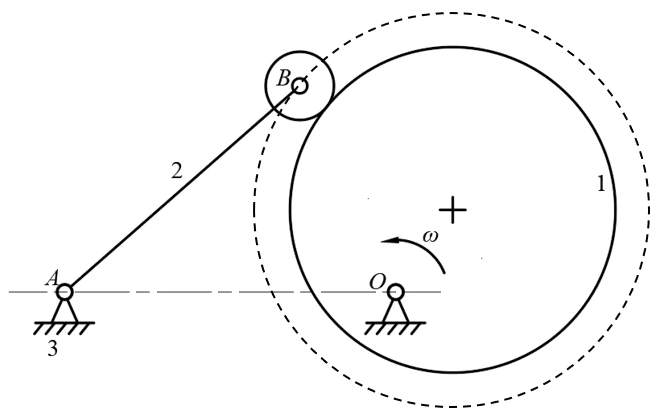
顾名思义，从动件的运动形式为直动，且从动件所在直线过凸轮旋转的轴心。

#### 偏心直动从动件尖底凸轮机构

从动件所在直线切于偏距圆。图示

AI 生成的内容可能不正确。

#### 摆动从动件盘形凸轮机构

从动件的运动形式为摆动。

### 图示 AI 生成的内容可能不正确。凸轮和从动件的运动

#### 凸轮的压力角

同样的，压力角的定义还是从动件受到的力与其速度方向的夹角，如图所示。

#### 运动过程

图右边的曲线表示的是凸轮转动角度时对应从动件的位移。

##### 图示 AI 生成的内容可能不正确。推程

从图示位置（点）开始，从动件向上运动，在从动件与凸轮段接触时从动件上升，此段运动称为推程。推程对应的凸轮转动的角度称为推程运动角。用字母表示

##### 远休止

从动件与凸轮段接触时，从动件处于最高点不动，这段运动称为远休止。对应的角度称为远休止角，用表示

##### 回程

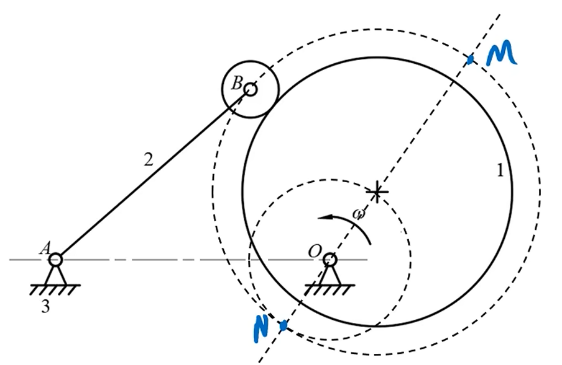
从动件与凸轮段接触时，从动件向下运动，这段运动称为回程。对应的角度称为回程运动角，用表示

##### 近休止

从动件与凸轮段接触时，从动件处于最低点不动，这段运动称为近休止。对应的角度称为近休止角，用表示

#### 其他概念

##### 实际轮廓曲线与理论轮廓曲线









实际轮廓曲线即为凸轮轮廓

当从动件为滚子时才有理论轮廓曲线，理论轮廓曲线为图中虚线所示，也就是实际轮廓曲线向外拓宽一圈滚子的半径。

##### 基圆

设实际轮廓曲线（滚子为理论轮廓曲线）上距离旋转轴心最近的点为，以为圆心为半径的圆即为基圆。

##### 推杆行程和摆杆摆角

从动件为推杆时，推杆底端在最低点与最高点之间的位移差即为推杆行程

从动件为摆杆时，摆杆摆动范围的夹角即为摆杆摆角。

##### 初始位置角

从动件运动形式为摆动时，摆杆与机架连线的最小夹角即为初始位置角。如上图，过点做与凸轮基圆相切，为切点，则初始位置角为。

##### 角位移

从动件运动形式为摆动时，摆杆与机架连线的夹角减去初始位置角。在上图图示位置时角位移为。

##### 压力角

从动件受力与速度方向的夹角即为压力角，即上图中与的夹角。

#### 图示 AI 生成的内容可能不正确。反转法

##### 偏心直动从动件凸轮

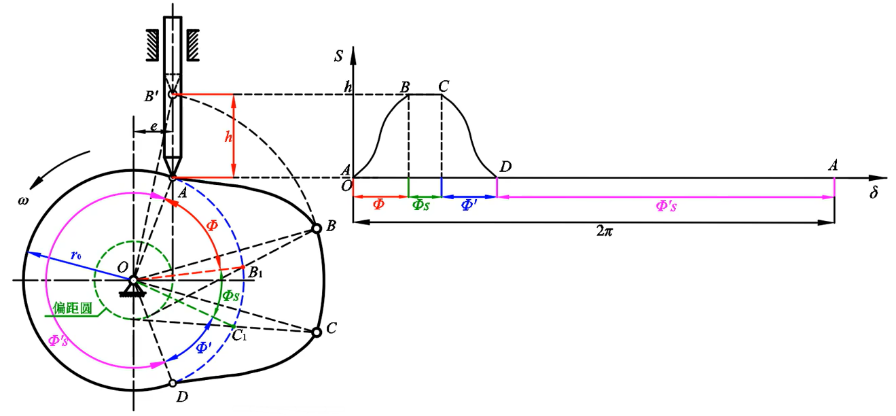
图示, 工程绘图

AI 生成的内容可能不正确。偏心凸轮的推程运动角不是，而是图中的，分析如下：

用类似转换机架法的思想，在研究凸轮运动时，可假设凸轮静止不动，而使推杆相对于凸轮沿方向作反转运动。

易知在正转时推杆总与偏距圆相切，在反转时应遵循一样的几何关系。

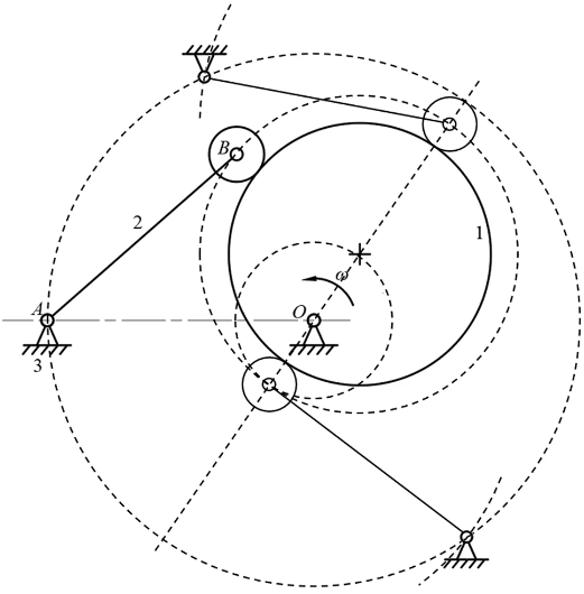
推杆从反转到时，转过的角度为图中的，对应凸轮正转的角度。作凸轮的基圆，推杆在处时所在直线与基圆交于。很容易可以证明，因此四点共圆，从而有，因此就是凸轮的推程运动角。其他的角度也同理。





##### 摆动从动件盘形凸轮

显然摆动从动件盘形凸轮只有推程和回程，没有近休止与远休止阶段。求推程运动角和回程运动角同样需要用到反转法。











在考虑正转的时候为定值，反转的时候的轨迹应该是以为圆心为半径的圆。同时的轨迹为理论轮廓曲线。从动件以角速度转动，找到转到最高点和最低点（右图示两位置）时滚子的位置，以其为圆心，为半径画圆弧，找到其中合适的那个与圆的交点（会交于两点，但是根据角速度方向可以找到合适的那个交点），那就是点经过旋转到达的位置。由于正转凸轮是绕点旋转，因此反转时从动件也是绕点旋转，从动件转过的角度即为从动件上一点绕点转过的角度。则凸轮的推程运动角和回程运动角即为所夹的两个角，如右图所示。

### 凸轮轮廓设计

#### 从动件的常用运动规律图示, 工程绘图 AI 生成的内容可能不正确。图示, 工程绘图 AI 生成的内容可能不正确。图示, 工程绘图 AI 生成的内容可能不正确。

简谐运动

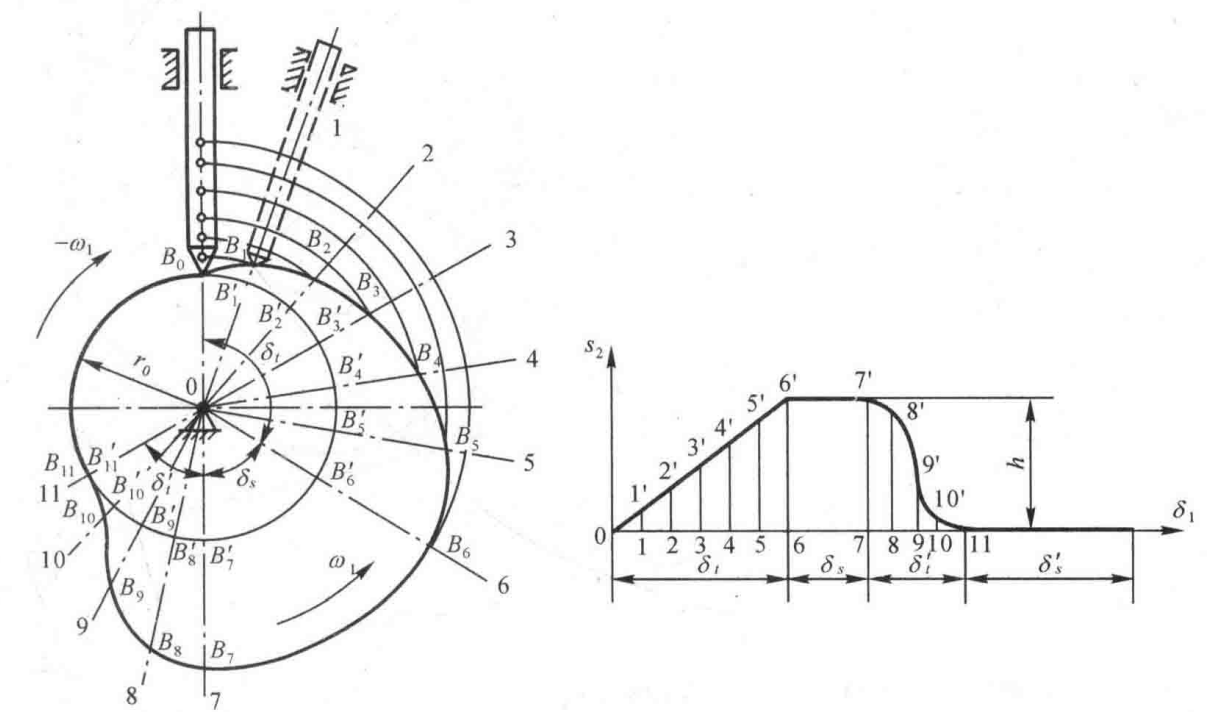
等加速等减速运动

等速运动

#### 用作图法设计凸轮轮廓曲线

1. 作出凸轮基圆，轮廓上某点与基圆的距离就是
2. 根据题目要求作出关系曲线
3. 利用反转法和曲线作出凸轮轮廓

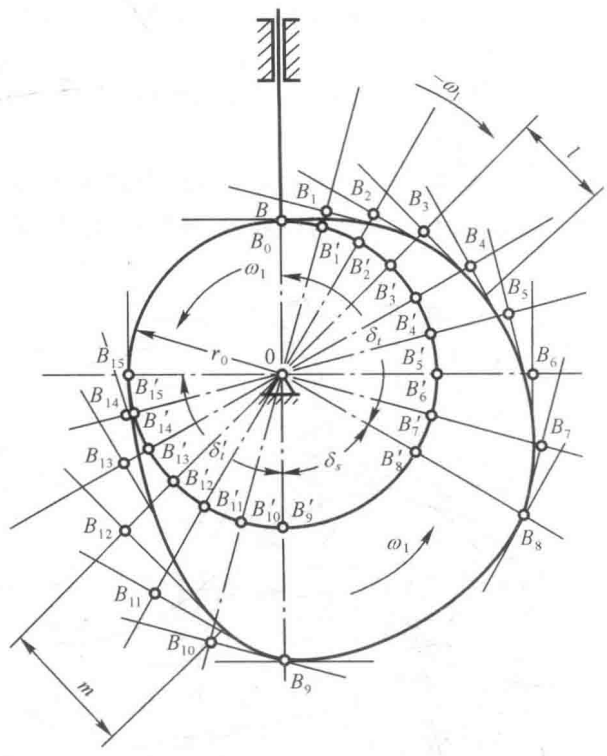
##### 对心尖底直动从动件盘形凸轮





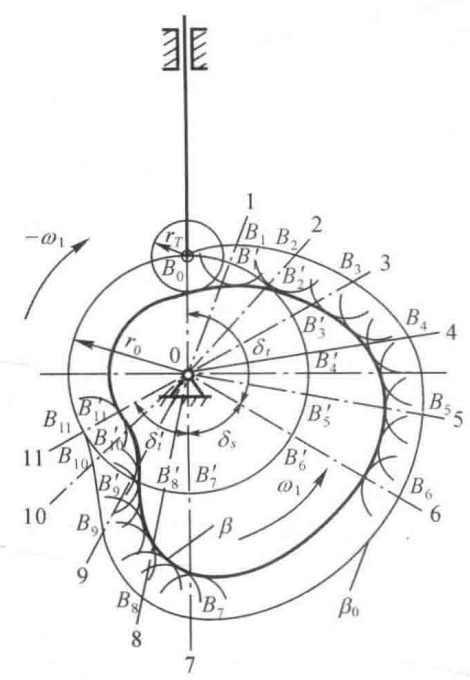


##### 对心滚子直动从动件盘形凸轮＆平底直动从动件盘形凸轮







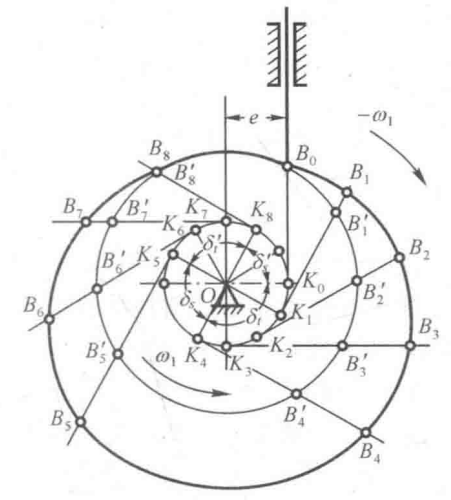






对于平底从动件，先把平底与导路的交点看作为尖底作出轮廓曲线，过这些点垂直于导路作一系列的平底，平底的实际结构长度必须分别大于导路至左、右最远切点的距离和。

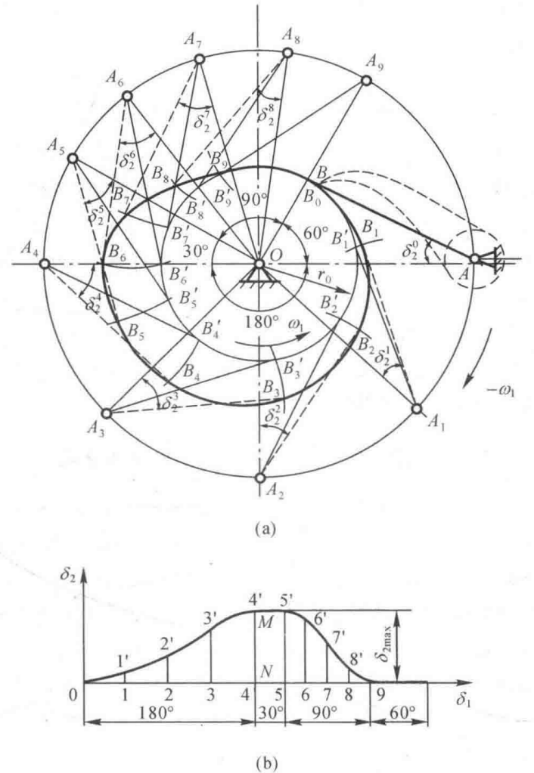
##### 偏置直动尖底从动件盘形凸轮







由反转法，根据曲线即可设计出凸轮轮廓。（角的起始边固定为）







##### 摆动从动件盘形凸轮

对于给定的，可以找到点，以点为圆心，长度为半径交基圆于，此时，如果线段长不到长度的五分之一，可以近似认为，,否则要分成几段量取。

## 怎么用ADAMS软件仿真渐开线形成的运动动画_百度知道齿轮机构及其设计

### 渐开线

##### 渐开线的形成

基圆的切线在基圆上做纯滚动（一直与基圆相切），切线上某点的轨迹即为渐开线。

##### 渐开线的性质

过渐开线上某点做渐开线的法线，该法线与基圆相切。

##### 渐开线的应用

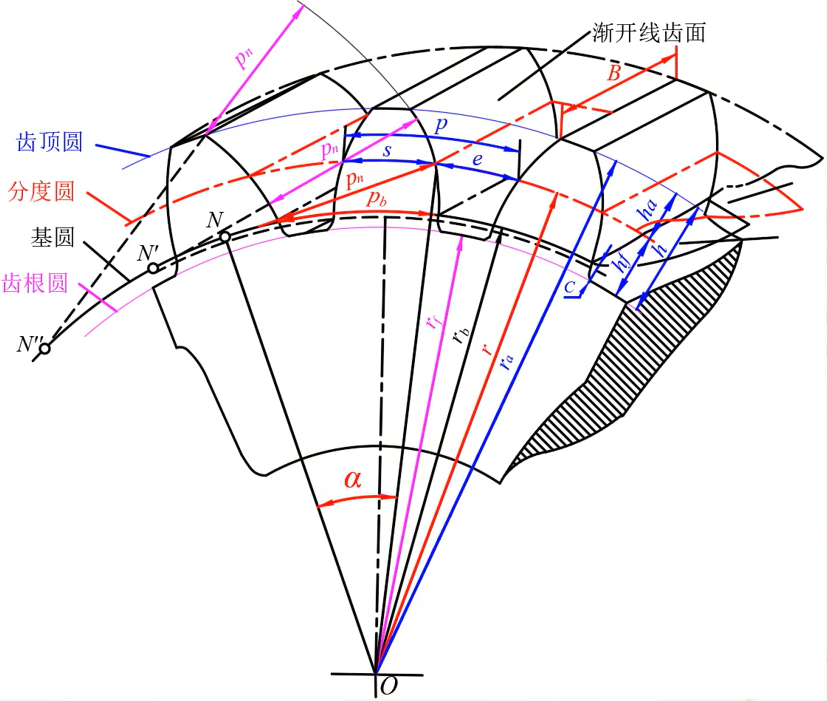
渐开线齿轮上各齿由两段基圆相同的渐开线和一段圆弧组成（见下图）

### 渐开线齿轮各部分的名称与符号

下表中出现的表示下标，一般来说就是表示某一圆上的一系列参数，一般下标可取空四种，分别代表齿顶圆，齿根圆，基圆和分度圆对应的参数。表格前面做列举，后面就不再赘述。

图表, 图示

AI 生成的内容可能不正确。



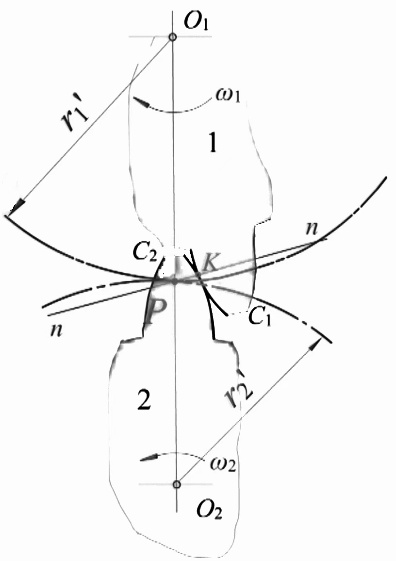




|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 符号 | 定义 |
| 基圆（半径） |  | 渐开线的基圆 |
| 齿顶圆（半径） |  | 以齿轮中心为圆心，半径为圆心到齿顶距离的圆。 |
| 齿顶圆（半径） |  | 以齿轮中心为圆心，半径为圆心到齿根距离的圆。 |
| 齿厚 |  | 某圆上单齿的厚度 |
| 齿顶圆齿厚 |  | 齿顶圆上单齿的厚度 |
| 齿根圆齿厚 |  | 齿根圆上单齿的厚度 |
| 齿槽宽 |  | 某圆上单齿槽的宽度 |
| 齿顶圆齿槽宽 |  | 齿顶圆上单齿槽的宽度 |
| 齿根圆齿槽宽 |  | 齿根圆上单齿槽的宽度 |
| 分度圆（半径） |  | **标准齿轮**齿厚与齿槽宽相等时对应的圆 |
| 分度圆齿厚 |  | 分度圆上单齿的厚度 |
| 分度圆齿槽宽 |  | 分度圆上单齿槽的宽度 |
| 齿距 |  | 相邻二齿的弧线距离 |
| 齿宽 |  | 齿轮的宽度 |
| 齿顶高 |  | 分度圆到齿顶圆的径向高度 |
| 齿根高 |  | 分度圆到齿根圆的径向高度 |
| 齿全高 |  |  |
| （分度圆）压力角 |  | 两齿轮接触点在分度圆上时从动件所受压力与速度的夹角  如上右图，方向为渐开线法线方向，与基圆相切；方向与半径垂直。深绿色直线夹角为压力角，很容易由几何关系推出浅绿色直角三角形标为的角与压力角相等。  国标规定一般 |
| 任意圆压力角 |  | 两齿轮接触点在某圆上时从动件所受压力与速度的夹角 |
| 法向齿距 |  | 过渐开线上一点作渐开线的法线，与相邻齿的渐开线的交点与该点的距离。 |
| 齿数 |  | 齿轮在整个圆周上轮齿的总数 |
| 模数 |  | 齿距与的比值，即 |
| 齿顶高系数 |  | 齿轮的齿顶高与其模数的比值，即  国标规定一般 |

### 齿轮的啮合

##### 齿廓啮合基本定律



一对齿轮在任一位置时的瞬时传动比，都与其连心线,被其啮合齿廓在接触点处的公法线所分成的两端线段长成反比。即



推导：1与机架的瞬心为，2与机架的瞬心为，由三心定理，1,2的瞬心在上。又由于点为两高副接触，瞬心必须在高副切点的公法线上，于是便确定了瞬心的位置，该点又称为**节点**。此时有



也即



即证。

##### 定传动比传动

齿轮定传动比传动的条件是：无论两齿廓在任何位置接触，过接触点所作两齿廓公法线必须与其连心线相交于一定点。此时，节点P在两轮运动平面上的轨迹为**节圆（注：节圆上的参数用上标 ’ 来表示）**，并作纯滚动。

对于渐开线齿轮而言，由于两接触齿廓的公法线始终为两齿轮基圆的公切线，可知公法线位置不变（称为**啮合线**），节点位置也不变。

##### 齿轮啮合的参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 符号 | 定义 |
| 节圆（半径） |  | 节点在齿轮运动平面上的轨迹 |
| 顶隙 |  | 一对啮合传动的齿轮副中，一个齿轮的齿顶圆与另一个齿轮齿根圆之间的径向距离称为顶隙 |
| 顶隙系数 |  | 顶隙和模数的比值    国标规定一般 |
| 啮合角 |  | 两齿轮啮合传动时，节点的圆周速度方向与啮合线之间所夹的锐角。容易证明啮合角等于节圆压力角。 |

##### 标准渐开线齿轮各部分几何尺寸的计算

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 符号 | 计算公式 | |
| 小齿轮 | 大齿轮 |
| 模数 |  | 题目给出 | |
| （分度圆）压力角 |  | 题目给出或 | |
| 分度圆直径 |  |  |  |
| 齿顶高 |  |  | |
| 齿根高 |  |  | |
| 齿全高 |  |  | |
| 齿顶圆直径 |  |  |  |
| 齿根圆直径 |  |  |  |
| 基圆直径 |  |  |  |
| 齿距 |  |  | |
| 基圆齿距 |  |  | |
| 法向齿距 |  |
| 分度圆齿厚 |  |  | |
| 分度圆齿槽宽 |  |
| 任意圆齿厚 |  | 其中，为弧度制 | |
| 顶隙 |  |  | |
| 标准中心距 |  |  | |
| 传动比 |  |  | |

##### 正确啮合条件

齿轮正确啮合的条件为基圆齿距相同，即，也即



一般而言，压力角为固定值，因此一对齿轮的正确啮合条件一般是模数与压力角分别相等，即



##### 图表, 雷达图 AI 生成的内容可能不正确。标准安装与非标准安装

安装时两齿轮中心距等于两齿轮分度圆半径之和，则称为标准安装，中心距称为标准中心距。此

1. 两轮的顶隙为标准顶隙
2. 两轮的齿侧间隙为0
3. 节圆与分度圆重合。

标准安装与非标准安装时齿轮的中心距与啮合角之间的数量关系



##### 齿轮的连续传动条件与重合度

如右图，为两轮基圆内公切线的切点，为极限啮合点，所在直线为啮合线，线段称为理论啮合线段，为两轮齿顶圆与啮合线的交点，点称为实际啮合点，线段称为实际啮合线段。

齿轮的重合度



重合度的意义：重合度越大，同时参与啮合的轮齿对数越多，可以大大的提高传动的平稳性和承载能力。

齿轮传动是通过轮齿交替啮合来实现的，为了保证传动的连续性，要求在前一对齿脱开啮合之前，后一对齿已进入啮合，此条件称为连续传动条件。重合度



时，齿轮可以实现连续传动。实际使用时可能会要求不小于一个工程许用值，即



### 变位齿轮

#### 图示, 工程绘图 AI 生成的内容可能不正确。根切

切制齿轮时，有时刀具的顶部会过多地切入轮齿根部，因而将齿根的渐开线齿廓切去一部分的现象。

为了避免产生根切现象，则啮合极限点必须位于刀具齿顶线之上。经推导可以得到

或

取标准值时，，

图示, 雷达图

AI 生成的内容可能不正确。推导：在右图中就相当于







即证

#### 图示, 雷达图 AI 生成的内容可能不正确。形成根切的原因

（仅用于帮助理解，可能不需要掌握）

切制齿轮的过程我们可以简单地简化为用一个对应能够标准安装的另一个齿轮（这里是特殊情况齿条）来作为刀具切制的。两个齿轮（一个刀具，一个待加工齿轮）在平面内左范成运动，即两齿轮啮合旋转；在垂直于纸面方向做往返运动用于切削。

设刀具齿顶线在位置:

刀刃将从点开始切齿，直到点结束;被切齿轮的齿廓从点至齿顶为渐开线，点称为渐开线齿廓起始点; 其实此处的点就是前面所说的实际啮合点。以为圆心，为半径的圆称为渐开线起始圆。

若将刀具齿顶增至位置:

与重合，渐开线起始圆是基圆。

若将刀具齿顶增至位置:

刀具齿顶高过点，则当刀具到达位置3时，齿廓渐开线部分已**全部切好**;

但刀具与齿廓未脱离“啮合”，继续右移，到达点才能脱离啮合线，刀具齿顶切入被切齿轮的根部，形成根切（图中蓝色阴影部分）。

#### 变位修正原因

1. 要求齿轮齿数，否则将产生根切现象;
2. 不适用于中心距的场合;
3. 一对标准齿轮传动中，小齿轮齿廓曲率半径小，齿根厚度较薄，参与啮合次数较多，强度较低，影响到整个齿轮传动的承载能力。

#### 图表, 折线图 AI 生成的内容可能不正确。变位修正法

加工齿轮时,将齿条刀具由标注位置（蓝色位置）相对于轮坯中心移动距离（变位量），向外移动为正方向。从而使其齿顶线不超过点，从而避免了发生根切现象的切制齿轮的方法。称为变位系数。

当时，刀具由轮坯中心移远，称为**正变位**。加工出的齿轮为正变位齿轮。

当时，刀具由轮坯中心移近，称为**负变位**。加工出的齿轮为负变位齿轮。

齿轮与齿条的分度线不再相切，这样切出的齿轮分度圆上的齿厚和齿槽宽不再相等，即。

#### 图示 AI 生成的内容可能不正确。避免根切的最小变位系数

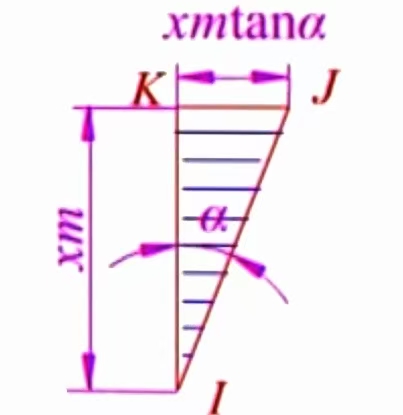
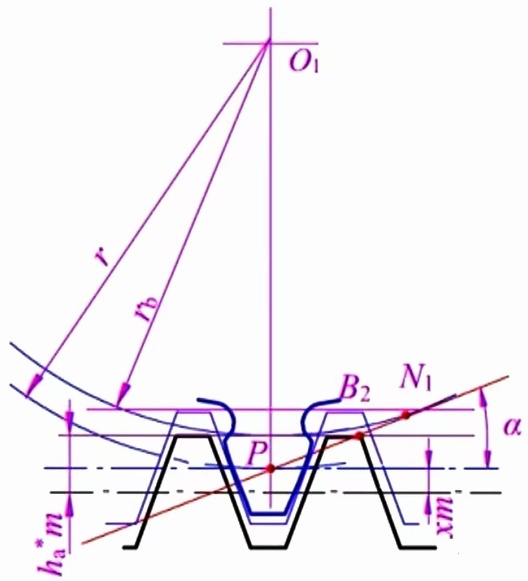
用标准齿条形刀具加工齿条时，为避免被加工齿轮发生根切现象，应保证齿条刀具的齿顶线不超过极限啮合点。



由此可以推出

这里默认取17计算。

#### 变位齿轮的几何尺寸



对于正变位齿轮，右图黄色的粗线为齿条分度线的齿槽宽，即原本齿轮的分度圆齿厚。经过变位修正后齿轮的分度圆齿厚变为右图绿色的粗线，多了两段小图中所示长度。由此可得

分度圆齿厚：

分度圆齿槽宽：

对于齿根高和齿顶高，齿根和齿顶都要对应（在图中）往下移动的距离，而分度圆不变，因此齿根高相对标准齿轮小，齿顶高相对标准齿轮大。

齿根高：

齿顶高：

对负变位齿轮，上述公式同样适用，此时取负号即可。

由于正变位齿厚增加，可知齿轮的强度也随之增加。

#### 变位齿轮传动条件

##### 正确啮合条件

与标准齿轮相同：模数和压力角分别相同。

##### 连续传动条件

或

##### 侧隙条件

两齿轮啮合应该保证侧隙为零。略去推导过程，无隙啮合方程为：



这个式子表明：时，，从而

记实际中心距



由



可以推导出



称为中心距变动系数。

##### 顶隙条件

两齿轮啮合应该保证顶隙为标准顶隙。则此时两轮中心距应为



时可以满足。

根据无隙啮合方程可以证明时总有，即

修正方法为两轮按无侧隙中心距安装，而将两轮的齿顶高各减短，以满足标准顶隙要求。



称为齿顶高降低系数。此时

#### 变位齿轮传动类型

##### 标准齿轮传动

条件：

##### 等移距变位传动/高度变位传动

条件：

特点：。由于小齿轮强度比较低，所以采用正变位。大齿轮采用负变位。

优点：

1. 两齿轮趋于等强度，可提高传动的承载能力;
2. 可制成的齿轮且不发生根切。

##### 正传动

条件：

特点：。两轮正变位或小齿轮正变位，大齿轮负变位

优点：

1. 齿数和可小于，减小传动尺寸
2. 可配凑给定的中心距。
3. 齿轮强度提高。

缺点：

1. 重合度减小。
2. 需配对制造，互换性差。

##### 负传动

条件：

特点：。

其重合度略有增加，但强度反而有所下降。只用于配凑中心距这种特殊需要的场合中。

正传动和负传动统称为**不等移距变位传动**或者**角度变位传动**。

## 轮系及其设计

### 分类

#### 定轴轮系

图示, 工程绘图, 示意图

AI 生成的内容可能不正确。图示, 示意图

AI 生成的内容可能不正确。当轮系运动时，其各轮轴线的位置固定不动的称为定轴轮系或普通轮系

#### 周转轮系

轮系运动时至少有一个齿轮的轴线是绕另一齿轮的轴线转动的称为周转轮系。机构自由度为2的周转轮系叫差动轮系，自由度为1的周转轮系叫行星轮系。例如图所示的轮系运动时，齿轮2的轴线绕齿轮1的轴线转动，所以它是一个周转轮系。一个周转轮系一般由太阳轮图示, 工程绘图

AI 生成的内容可能不正确。（中心轮）、行星轮和行星架组成

##### 太阳轮/中心轮

周转轮系中绕定轴转动的齿轮，一般表示为。上图中中心轮为齿轮1,3.

##### 行星轮

周转轮系中轴线绕另一齿轮的轴线转动的齿轮。上图中行星轮为齿轮2.

##### 行星架

周转轮系中支撑行星轮的机构，一般表示为。

##### 型周转轮系

图示, 示意图

AI 生成的内容可能不正确。图示, 示意图

AI 生成的内容可能不正确。包含一个中心轮、一个行星架和一个行星轮。**只有一个中心轮与行星轮直接相连**。

##### 图示, 示意图 AI 生成的内容可能不正确。图示, 示意图 AI 生成的内容可能不正确。图示, 示意图 AI 生成的内容可能不正确。型周转轮系

包含两个中心轮、一个行星架和一个行星轮。**两个中心轮与行星轮直接相连**

一般将一个中心轮作为主动轮。例如最左边的轮系，假设1为主动轮（也可以假设为3），根据传动关系则可以写为（规定将行星架写在最后，因为行星架只当从动件，不带动其他齿轮转动。）

同理，以上三图从左到右分别为

、、

##### 型周转轮系

包含三个中心轮、一个行星架和一个行星轮。**三个中心轮与行星轮直接相连**

型周转轮系可以拆为3个型周转轮系。用以求解相关问题。

右图轮系可以拆为、、。

### 求解传动比

轮系的传动比为轮系中的输入构件与输出构件的角速度之比。

#### 定轴轮系

如图所示的圆柱齿轮组成的轮系，设输入轴和输出轴A和B，各轮的齿数为， 各轮的角速度为。求。

显然有（仅考虑大小）



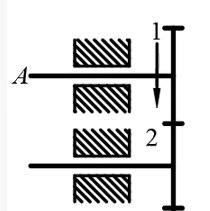
根据啮合两轮角速度与齿数成反比计算即可。

#### 传动比的正负判断

对于传动比，如果首末两轮转动方向相同，则传动比为正，否则为负。

一般采用在图中标注箭头的方法来确定方向。

##### 066-03 斜齿外啮合齿轮机构 - 机械基础虚拟实验室外啮合



由动图，外啮合的齿轮转动方向相反。

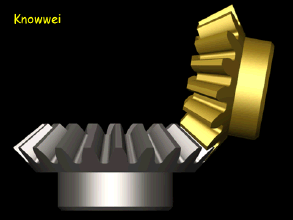


##### 图片包含 游戏机, 机械, 齿轮 AI 生成的内容可能不正确。内啮合

由动图，内啮合的齿轮转动方向相同。

##### 图示 AI 生成的内容可能不正确。圆锥齿轮

由动图，圆锥齿轮啮合时，节点处箭头对箭头或是箭尾对箭尾。



##### 图示 AI 生成的内容可能不正确。蜗轮蜗杆

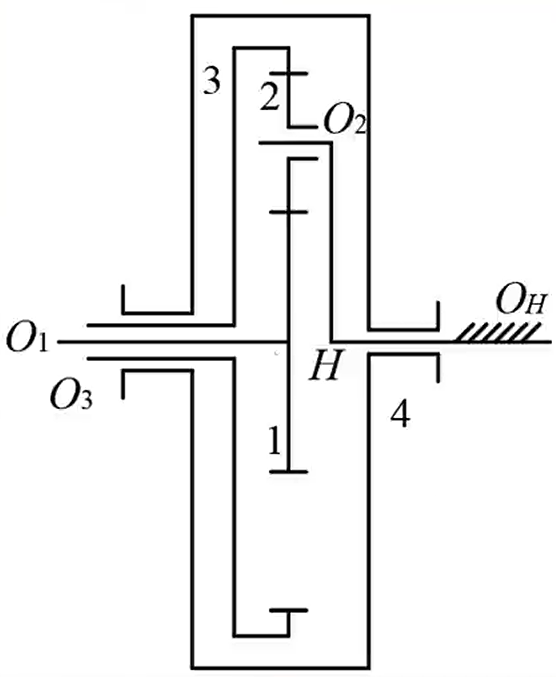
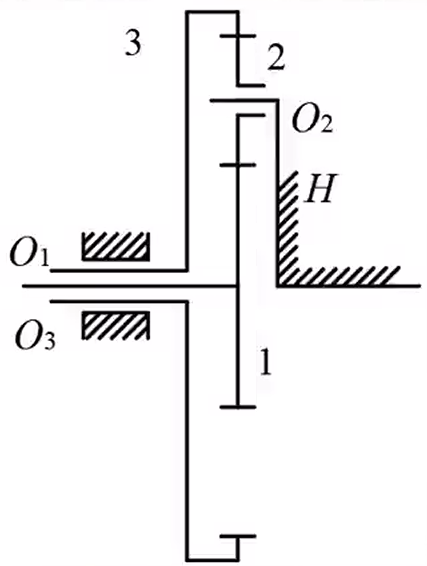
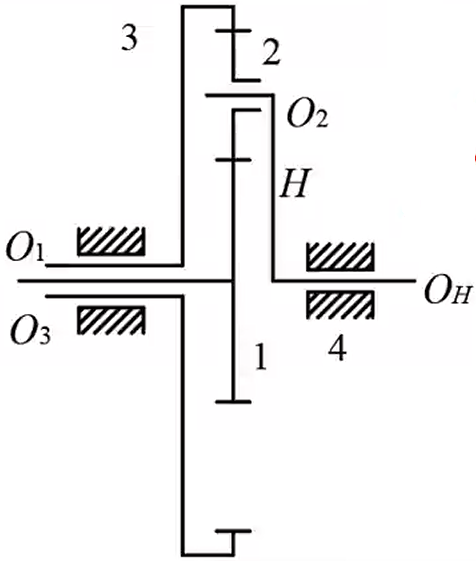
感兴趣的同学可以自行了解原理。这里直接给出结论：

右旋蜗杆用**右手**螺旋定则来判断，手指围绕蜗杆旋转的方向，拇指如果朝纸面向里则表示蜗轮方向的箭头由蜗杆指向蜗轮的另一端，如果拇指朝纸面向外则相反。

左旋蜗杆用**左手**螺旋定则来判断，手指围绕蜗杆旋转的方向，拇指如果朝纸面向里则表示蜗轮方向的箭头由蜗杆指向蜗轮的另一端，如果拇指朝纸面向外则相反。

#### 周转轮系

周转轮系传动比的求解采用反转法将其转化成定轴轮系，即设行星架固定不动，这时以行星架作参考系（机架）。显然转换前后转轴是不变的。



画出完整机架

转化机架

去除原本的机架（不是研究对象）

反转结果

上图中反转后的传动比（参考系与齿数大小无关，正负代表方向）



一般情况下，设为输入端，为输出端（一般），可以得到



为各齿轮齿数构成的函数。

再结合其他已知条件，求解。

#### 复合轮系

定轴轮系和周转轮系复合而成的轮系。求解时将其拆分为若干定轴轮系和周转轮系分别求解即可。在图中先找到行星轮，与行星轮直接相连的中心轮和行星轮构成周转轮系，其余再进行拆分。

##### 图示, 工程绘图, 示意图 AI 生成的内容可能不正确。例题

如图，已知各轮齿数分别为。求。

先根据齿轮的传动来拆解轮系。将齿轮1作为主动轮，容易看出齿轮2为行星轮，齿轮5即为行星架。齿轮3与齿轮2-2’直接相连。1,2,3构成一个周转轮系。

同时齿轮3-3’带动齿轮4，齿轮4又带动齿轮5，三个齿轮都绕定轴转动，构成一个定轴轮系。从而有



综合上式可求得



### 图示, 工程绘图 AI 生成的内容可能不正确。求解自由度

求解自由度的方法基本与平面机构结构分析相同。

以右图为例，左右对称，因此计算时不计齿轮6和齿轮7（分别与齿轮2和齿轮4对称）

也就是说，构件数为5.

每个齿轮都绕自己轴线转动，有一个转动副，低副数量为5.（实际上齿轮5和齿轮1绕同一轴线转动，此处为复合铰链，但是也已经算了两个转动副。）

高副看啮合处，去除对称剩下的部分6与2啮合，2’与3啮合,4与5啮合，3’与4啮合，共4处。

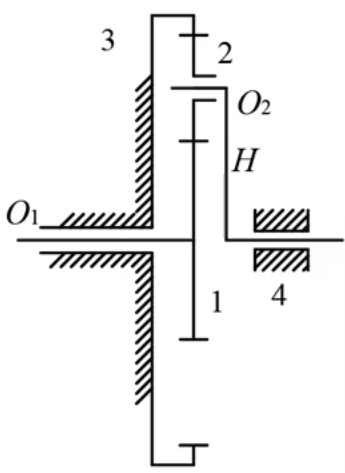
因此机构自由度为



### 图示, 示意图 AI 生成的内容可能不正确。单排行星轮系齿数条件

类似右图这种就是双排齿轮，其余比较普通的齿轮为单排齿轮。

##### 传动比条件

由行星轮系的自由度为1，可知两个中心轮有一个为机架，假设为齿轮3，如右图。

有



由3为机架，

可知



##### 同心条件

齿轮1,3以及行星架H同轴。

因此有（标准齿轮或变位齿轮传动）



由，且啮合的齿轮模数都相同，有



##### 均布条件/装配条件

轮图示, 工程绘图

AI 生成的内容可能不正确。1转过的角度与行星轮中心转角的关系：



齿轮1转过角后装另一个齿轮，以此类推，即为安装个行星轮的均布角。此时必须保证轮1转过整数个齿，新装进来的齿轮才会和齿轮1运动状态一致。



得



即两个太阳轮的齿数和应能被行星轮个数整除。

##### 邻接条件

为保证相邻两（标准）行星轮不致互相碰撞，需使其中心距，大于两轮齿顶圆半径之和，即



也即

