

储药槽的设计

摘 要

通过分析储药柜的设计和使用要求,本文对储药柜的结构以及储药槽的规格进行了设计,主要解决了以下几个问题:

1.为避免推送药盒时出现并排重叠、侧翻和水平旋转的情况,分析出储药槽的宽度必须小于其中最小药盒宽度的2倍,也必须小于其中药盒的最小长宽对角线长度和最小高宽对角线长度;

2.在考虑应留间隙的前提下,利用 matlab 程序逐步推导,设计出竖向隔板间距类型(即储药槽宽度类型)最少的方案:5种类型分别为19mm,31mm,39mm,50mm,60mm;

3.在类型最少方案的基础上,采用逐步分裂的迭代算法,将可获得大幅宽度冗余降低率的竖向隔板间距类型进行拆分,以增加间距类型并减少总宽度冗余,计算出不同间距类型数量下的总宽度冗余值,并给出合理的竖向隔板间距类型数量为12种,其对应的宽度分别为19,22,24,28,31,35,39,45,50,55,60(单位mm)。此外,也给出了每种类型对应的药品编号;

4.进一步考虑平面冗余,采用逐步分裂的迭代算法,将可获得大幅平面冗余降低率的横向隔板间距类型进行拆分,以增加间距类型并减少总平面冗余,计算出合理的横向隔板间距类型数量为13种,其对应的宽度分别为42,48,53,63,68,72,76,80,84,88,96,104,129(单位mm)。

5.根据药品的需求量计算出每种药品所需的储药槽个数,并利用 matlab 程序实现穷举,给出储药槽在储药柜中的摆放方案,计算出最少需要的储药柜数量为2个。此外,本文方法还能给出具体的摆放情况,即输出每个储药柜中每一排药品的编号及其储药槽数量。

关键词:储药柜,宽度冗余,平面冗余, matlab

一、问题重述

目前,自动发药系统正在我国医院推广使用,它主要用来解决现在西药房管理混乱问题,例如药房日处理处方量大,药师工作时长、取药易出错等。其中,储药柜的作用十分重要,它必须将药品集中摆放,能顺利推送,便于取药和放药。同时,储药柜的体积和数量还不能过多,影响系统的运行和购置成本。基于上述要求,储药柜中的储药槽必须精心设计和使用时:为保证药品分拣的准确率,防止发药错误,一个储药槽内只能摆放同一种药品;为保证药品在储药槽内顺利出入,要求药盒与两侧竖向隔板之间、与上下两层横向隔板之间应留 2mm 的间隙,药盒在储药槽内推送过程中不会出现并排重叠、侧翻或水平旋转。为了设计出合理的储药柜,必须解决以下几个问题:

1. 在忽略储药槽横向和竖向隔板厚度的前提下,根据所给的药盒规格,设计出竖向隔板间距类型最少的储药柜方案,给出相应类型的数量和每种类型所对应的药盒规格。

2. 为有效地减少宽度冗余,需适当增加竖向隔板间距类型的数量,但这也增加储药柜的加工成本,降低储药槽的适应能力。因此,需要设计出合理的竖向隔板间距类型的数量,使总宽度冗余尽可能小,同时类型数量也尽可能少。

3. 进一步考虑平面冗余的计算,根据前述问题的结果,确定合理的储药柜横向隔板间距的类型数量,使得储药柜的总平面冗余量尽可能地小,且横向隔板间距的类型数量也尽可能地少。

4. 根据每一种药品编号对应的最大日需求量,计算出每一种药品所需要的储药槽个数,并将所有药品的储药槽摆放到储药柜中以满足药房储药的需求。同时,根据单个储药柜的规格,计算最少需要多少个储药柜。

二、问题的分析

本题的主要问题是设计储药柜的储药槽，使得槽内的药盒能够顺利推送并不会发生并排重叠、侧翻和水平旋转，这需要根据附件所给的药盒规格，设计出符合要求的储药槽宽度和高度。参考在互联网上搜索到的自动送药机及其储药柜，如图 3.1 和图 3.2 所示，可以得出药品在储药槽中一般是侧面摆放，将高和宽的一面朝外，使得所需储药槽的宽度最小。此外，图中所示没有竖向支撑板影响储药槽的放置，这点与题目所给的图不同，本文将参照图 3.1 和图 3.2 的实际情况求解，忽略竖向支撑板，简化问题。



图 3.1 自动送药机的储药柜



图 3.2 自动送药机的储药柜

对于问题 1，可采用 matlab 程序从最小宽度规格的药盒开始，分段设置储药槽宽度及其对应的药盒规格，使药槽能装最多的药盒并避免药盒的并排重叠、侧翻和水平旋转。问题 2 引入了宽度冗余的概念，宽度冗余会随着储药槽宽度类型增加而降低，随着类型的减少而提高。为了在宽度冗余和类型数量之间寻找合理点，需要计算每种类型数量下的宽度冗余值，并绘制变化曲线，通过曲线寻找合

理的类型数量。问题 3 则进一步引入了平面冗余的概念，这需要利用问题 2 的结论，在确定所有药品储药槽宽度及其类型的基础上，计算出每种高度类型下的平面冗余值，并寻找合理的类型数量。问题 3 的优化目标虽然变为了平面冗余值，但其解题方法与问题 2 相似。在问题 4 中，需要根据储药柜的规格尺寸，将所有药品所需的储药槽放入储药柜，并确定储药柜的最小数量。由于问题 2 和 3 的目标是使得总平面冗余尽可能小，这与储药槽占储药柜空间尽可能小一致，也即所需储药柜数量少一致。因此，问题 4 必须根据药品的需求量计算出每种药品所需的储药槽个数，然后利用问题 2 和 3 的结论得到每种药品的储药槽的规格（包括高度和宽度），最后在实用的前提下将储药槽摆放到储药柜中。

三、模型的假设

1. 假设储药柜的横向和竖向隔板的厚度忽略不计；
2. 假设只考虑药槽的横向和竖向隔板，不考虑储药柜的竖向支撑板；
3. 假设储药柜的横向和竖向隔板不会影响药品的放入和取出；
4. 储药柜药槽的放置参考医院的实际情况，以实用为优先；
5. 假设药盒在药槽内移动时不会发生阻塞、挤压和变形的情况；
6. 假设药盒都为符合长、高、宽描述的形状；
7. 假设药盒在药槽中露出的盒面不会影响药盒的取出和放入，即药盒在药槽中可以侧放、平放或竖向放置；

四、 符号定义及说明

符号	含义	单位
K_{min}	药盒型号的最小宽度	mm
K_{max}	药盒型号的最大宽度	mm
C_K	药槽的竖向隔板间距类型数量	种
C_G	药槽的横向隔板间距类型数量	种
S_j	第 j 种储药槽中所有药品的宽度冗余之和	mm
W_j	第 j 种储药槽的宽度	mm
D_i	编号为 i 的药盒的宽度	mm
h_j	宽度冗余降低率	
H	宽度冗余降低率门限值	
S_0	所有竖向隔板间距类型中所有药盒的总宽度冗余	mm
G_j	第 j 种储药槽中所有药品的总高度冗余之和	mm
T_j	第 j 种储药槽的高度	mm
DT_i	编号为 i 的药盒的高度	mm
A_0	总平面冗余	mm ²
k_j	平面冗余降低率	
P	平面冗余降低率的门限值	
n_i	编号为 i 的药盒在一个储药槽中数量	个
L_i	编号为 i 的药盒的长度	mm
C_{N_i}	编号为 i 的药盒所需的储药槽个数	个
num_i	编号为 i 的药品的最大日需求量	盒

五、 模型的建立与求解

参考实际情况,由于药盒的侧面一般宽度较小,因此选择药盒侧放在储药槽中,露出其高和宽的一面,所需储药槽的宽度较小,可以在一定空间内放更多的药品。在忽略

横向和竖向隔板厚度、忽略隔板对放药与取药的影响的前提下，药盒与两侧竖向隔板之间、与上下两层隔板之间应留 2mm 的间隙，则药盒在药槽中至少要比储药槽宽度（即竖向隔板类型）和高度要小 4mm 才能顺利出入。为了使药盒在储药槽内推送时不会出现并排重叠、侧翻和水平旋转的情况，储药槽宽度必须满足一定尺寸要求：

1. 并排重叠情况

为防止并排重叠，储药槽宽度应小于 2 倍药盒宽度，具体原理如图 6.1 所示。假设药盒宽度为 D ，储药槽宽度如果不小于 $2D$ ，则槽内药盒会发生并排重叠；当储药槽宽度为 $2D-1$ 时，就能避免这种情况。



图 6.1 药盒的并排重叠

2. 侧翻情况

为防止侧翻情况，储药槽宽度（即竖向隔板类型）应大于药盒长和宽的对角线，具体原理如图 6.2 所示。当储药槽宽度大于药盒型号高和宽的对角线时，药盒就可能发生侧翻。



图 6.2 药盒的侧翻

3. 水平旋转情况

与防止侧翻的原理相同，为防止水平旋转情况，储药槽宽度应大于药盒长和宽的对角线。

5.1 问题 1

分析附件 1 中药盒的规格数据，可得药盒规格的最小宽度为 $K_{min}=10\text{mm}$ ，最大宽度为 $K_{max}=50\text{mm}$ 。为防止并排重叠的情况，储药槽宽度应小于 2 倍其中药盒宽度。考虑到与两侧竖向隔板应留 2mm 的间隙，储药槽宽度应比其中药盒宽度至少大 4mm。因此，储药槽中所放的药盒的最小宽度为 D_{min} ，最大宽度为 D_{max} ，则储药槽宽度 W 存在如下关系：

$$W = 2 * D_{min} - 1 \quad (1)$$

$$W = D_{max} + 4 \quad (2)$$

为了使储药槽宽度（竖向隔板间距）类型最少，必须使储药槽在满足上述要求的情景下尽量放最多的药盒。因此，可以从最小宽度药盒开始推导，到最大宽度药盒结束，得出以下几种类型：

1. 类型 1: $W_1 = 2 * 10 - 1 = 19\text{mm}$ ，所放药盒宽度最大为 $W_1 - 4 = 15\text{mm}$ ，即所放药盒宽度的规格为 10mm~15mm；

2. 类型 2: 参考类型 1，所放药盒宽度最小应为 16mm，则 $W_2 = 2 * 16 - 1 = 31\text{mm}$ ，所

放药盒宽度最大为 $W_2-4=27\text{mm}$ ，则所放药盒宽度规格为 $16\text{mm}\sim 27\text{mm}$ ；

3.类型 3：参考类型 2，所放药盒宽度最小应为 28mm ，则 $W_3=2*28-1=55\text{mm}$ ，所放药盒宽度最大为 $W_3-4=51\text{mm}$ ，则所放药盒宽度规格为 $28\text{mm}\sim 51\text{mm}$ ；

4.类型 4：参考类型 3，所放药盒宽度最小应为 52mm ，则 $W_4=2*52-1=103\text{mm}$ ，但药盒 $K_{max}=56\text{mm}$ ，即所放药盒宽度最大为 56mm ，因此 $W_4=56+4=60$ ，所放药盒宽度规格为 $52\text{mm}\sim 56\text{mm}$ ；

在上述推导过程中，还必须考虑避免侧翻和水平旋转的情况，因此储药槽宽度 W 还必须与药盒高宽对角线、长宽对角线长度进行对比，具体流程如图 6.3 所示，其 matlab 程序见附录 1.1。程序运行后，最后得出共有 5 种竖向隔板类型（储药槽宽度类型），这 5 种竖向隔板类型对应的药盒型号数量和药盒规格如表 6.1 所示。

表 6.1 竖向隔板间距类型最少药盒数量

序号	竖向隔板类型 (储药槽宽度 mm)	对应的药盒数量	规格 (mm)
1	19	23	10~15
2	51	128	16~27
3	39	103	28~35
4	60	297	36~46
5	60	118	47~56



由于药盒与两侧竖向隔板之间的间距超出2mm的部分被视为宽度冗余,则储药槽宽度与所放药盒宽度之差大于2mm即为此药盒在此储药槽中的宽度冗余。即第j个药槽类型中第i种药盒的宽度冗余为:

其中 W_i 为第 i 种药槽类型的宽度, D_{ji} 为其中第 j 种药盒的宽度。因此, 可计算得到每种类型药槽中的总宽度冗余为:

根据问题一的情况, 可计算得到问题一中竖向隔板间距类型最少时, 每个类型所对应的总节余包余及其所占比例, 如表 6.2 所示。其 `matlab` 程序见附录 1.1。

储药槽宽度 类型 (mm)	存放的药 盒数量	规格 (mm)	冗余 (mm)	冗余比例
19	123	10~15	95	0.97%
31	1078	16~27	6653	67.96%
39	303	28~35	1013	10.35%

50	297	36~46	1310	13.38%
60	118	47~56	718	7.33%

根据优化目标，问题 2 可以用模型描述为：

$$\begin{cases} \min \sum_j S_j \\ \min C_K \end{cases} \quad (5)$$

其中，C_K 为药槽的竖向隔板间距类型数量。竖向隔板间距类型最少时，5 种类型的宽度冗余总量为 9789mm。为了减少冗余，必须增加储药槽的类型，即增加竖向隔板间距类型数量。在问题一的基础上，可以选择将每种储药槽的类型拆分为 2 个，即将其对应的药盒规格由 1 段拆分为 2 段，例如 16~27mm 可以均匀拆分为 16~21mm 和 22~27mm 两段。根据此原理，将冗余较大的类型进行拆分。具体步骤如下：

1. 对于第 j 种类型的储药槽，根据公式（4）计算其中所有药品的宽度冗余为 S_j ；
2. 对于所有类型的储药槽，计算总的宽度冗余为

$$S_0 = \sum_j S_j$$

3. 将第 j 种类型的储药槽按药品规格拆分为 2 段，拆分后的宽度冗余分别为 S_{j1} 和 S_{j2} ，设置拆分后的宽度冗余降低率为

$$h_j = [S_0 - (S_{j1} + S_{j2})] / S_0 \quad (6)$$

4. 当宽度冗余降低率 $h_j > H$ 时，其中 H 为预先设置的阈值，表示拆分所增加的储药槽类型会引起宽度冗余的大幅降低，必须保留此拆分的结果，即增加 1 个类型；

5. 当宽度冗余降低率 $h_j \leq H$ 时，表示拆分所增加的储药槽类型仅会引起宽度冗余的小幅影响，不必保留此拆分的结果，即此储药槽类型不变；

6. 按上述步骤，将所有的储药槽类型都进行拆分，最后得到更新后的储药槽类型，其数量的增加会引起总宽度冗余的降低。如果预先设置的阈值 H 越小，则拆分出的类型越多，总的宽度冗余越小；H 值设置越大，则拆分出的类型越少，总的宽度冗余越大。

根据上述方法，可分别设置不同的 H 值，获得不同数量的储药槽类型（竖向隔板间距类型），其 matlab 程序见附录 1.2。经程序处理，可发现由 5 种类型增加到 6 种类型时，储药槽类型由（19,31,39,50,60）变为了（19,25, 31,39,50,60），这与 31mm 类型储药槽的宽度冗余最大（占总量的 67.96%），必须优先拆分为 2 类，会大幅降低宽度冗余的事实相符合。

通过调解阈值 H，增加储药槽宽度类型，可得不同类型数量下的总宽度冗余值如表 6.3 所示。

表 6.3 不同类型数量下的总宽度冗余

储药槽宽度类型数量	总的宽度冗余 (mm)
5	9789
6	5475
10	2882
11	2417
12	2084
13	1919
14	1771
15	1671
16	1513
17	1362
20	1089
21	1035
23	912
26	782

将表 6.3 中的数据按下式进行归一化处理，将类型数量归一化为：

$$norm_{\Delta} = \frac{\Delta \cdot \text{类型数量}}{\text{最多的类型数量}} \quad (7)$$

其中 47 为最多的类型（药盒类型共 47 种）。再将总宽度冗余归一化为：

$$norm_{\Delta S} = \frac{\text{不同类型数量下的总宽度冗余}}{\text{最大的总宽度冗余}} \quad (8)$$

其中类型数量最少时的总宽度冗余最大，即类型数量为 5 时的总宽度冗余 9789。利用上述归一化数据，画出以下曲线图。

由图 6.10 可以看出，随着类型数量的增加，总宽度冗余一直在降低，且降低幅度越来越小。两线相交的位置即为合理的竖向隔板间距类型（储药槽宽度类型）的数量，为 12 种类型（相交点的类型数量大于 11，即取为 12），此时总宽度冗余和类型数量都较小。

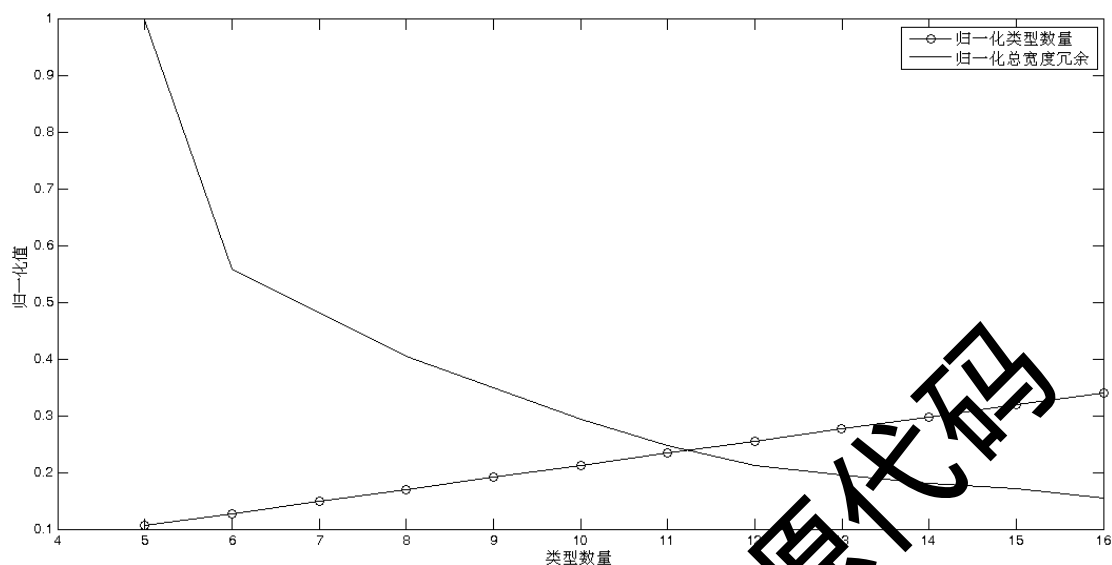


图 6.4 归一化总宽度冗余和类型数量曲线图

12 种类型为合理的类型数量，其对应的储药槽宽度分别为 19, 22, 24, 25, 28, 31, 35, 39, 45, 50, 55, 60 (单位 mm)。每种类型所对应的药品编号分别为：

(1) 规格 19mm 储药槽：

4	61	80	84	87	99	107	120	122	123	151	184	197	252	253
254	255	274	303	318	332	348	372	393	405	422	456	471	476	505
520	527	539	557	570	571	582	605	609	612	620	668	669	686	687
699	702	723	731	774	775	823	834	872	875	881	909	923	928	934
962	975	1016	1022	1030	1032	1051	1070	1071	1079	1080	1081	1082		
1083	1092	1097	1100	1133	1138	1169	1177	1179	1200	1297	1300			
1307	1321	1335	1336	1342	1367	1370	1423	1449	1455	1464	1465			
1466	1471	1482	1486	1490	1519	1535	1540	1547	1565	1591	1594			
1603	1604	1612	1634	1651	1705	1791	1792	1807	1815	1827	1887			
1908	1917													

(2) 规格 22mm 储药槽：

16	33	34	42	50	57	62	67	70	91	93	97	111	112	116	117	123
130	135	140	141	145	168	169	177	185	196	198	199	209	230	233		
236	240	241	260	262	263	264	265	269	272	278	279	280	287	298		
299	302	308	309	310	312	313	317	319	333	334	335	354	360	361		
362	368	371	384	392	396	406	424	434	453	454	461	472	485	490		
512	513	517	518	521	525	546	555	576	577	596	601	606	619	641		
673	679	680	684	685	696	697	700	717	718	724	725	733	734	743		
758	769	773	779	780	784	792	794	797	798	801	806	821	826	832		
833	835	840	848	851	853	855	857	862	866	869	870	871	877	879		
880	890	891	899	902	911	921	922	927	936	950	953	954	971	990		
998	1004	1012	1018	1023	1049	1052	1053	1060	1065	1069	1072					
1076	1085	1087	1111	1132	1135	1142	1152	1168	1170	1171	1172					
1173	1175	1176	1185	1187	1188	1195	1198	1204	1209	1212	1227					

1256	1258	1272	1277	1278	1279	1290	1291	1292	1293	1296	1298
1302	1318	1322	1333	1343	1353	1364	1369	1380	1402	1409	1412
1416	1424	1432	1433	1439	1441	1459	1460	1470	1476	1480	1511
1536	1537	1538	1553	1566	1592	1600	1610	1618	1620	1627	1628
1629	1631	1643	1644	1652	1680	1698	1702	1710	1717	1737	1750
1754	1771	1781	1797	1830	1868	1891	1894	1918			

(3) 规格 24mm 储药槽:

2	6	8	9	21	23	24	26	27	31	32	38	40	42	52	68	71	75	78
79	103	108	113	115	118	121	125	126	131	132	135	136	141	145	146	147	148	163
165	186	203	205	210	214	215	216	217	221	225	226	227	230	234	236	240	244	268
270	275	277	283	285	288	292	304	320	324	325	330	336	340	342	344	346	348	344
345	347	351	357	363	366	390	394	401	402	412	419	425	426	428	430	432	434	428
436	439	440	449	464	473	494	496	507	516	517	523	526	530	538	540	542	544	538
542	543	548	552	569	593	595	607	617	624	631	632	637	638	647	649	651	653	647
650	662	665	674	683	691	692	693	694	695	698	704	707	712	713	715	717	719	713
714	735	737	742	745	753	761	765	766	770	771	786	787	788	790	792	794	796	790
791	815	816	823	831	838	846	849	852	861	868	886	910	912	913	915	917	919	913
942	943	967	969	977	987	999	1001	1002	1009	1019	1020	1027	1029	1033	1036	1055	1059	1062
1029	1033	1036	1055	1059	1062	1067	1072	1073	1088	1095	1099	1103	1104	1116	1118	1119	1120	1121
1104	1116	1118	1119	1120	1121	1123	1128	1129	1131	1146	1149	1151	1156	1199	1214	1217	1225	1226
1151	1156	1199	1214	1217	1225	1226	1241	1254	1257	1260	1262	1263	1280	1281	1309	1314	1315	1316
1263	1280	1281	1309	1314	1315	1316	1331	1332	1337	1342	1355	1357	1360	1361	1372	1374	1376	1377
1357	1360	1361	1372	1374	1376	1377	1378	1379	1383	1384	1389	1391	1394	1397	1400	1401	1403	1405
1391	1394	1397	1400	1401	1403	1405	1406	1415	1417	1418	1425	1426	1428	1430	1437	1447	1450	1451
1426	1428	1430	1437	1447	1450	1451	1452	1453	1456	1457	1458	1461	1463	1472	1473	1477	1483	1491
1461	1463	1472	1473	1477	1483	1491	1507	1509	1510	1512	1524	1525	1530	1546	1554	1556	1571	1573
1525	1530	1546	1554	1556	1571	1573	1574	1584	1590	1602	1608	1614	1617	1624	1626	1630	1632	1636
1608	1614	1617	1624	1626	1630	1632	1636	1637	1648	1650	1651	1653	1656	1661	1664	1665	1699	1701
1653	1656	1661	1664	1665	1699	1701	1703	1707	1711	1712	1718	1719	1725	1729	1731	1736	1738	1739
1719	1725	1729	1731	1736	1738	1739	1741	1749	1758	1759	1760	1768	1770	1782	1783	1800	1802	1803
1760	1768	1770	1782	1783	1800	1802	1803	1805	1828	1833	1836	1837	1864	1865	1867	1872	1883	1884
1837	1864	1865	1867	1872	1883	1884	1885	1890	1909									

(4) 规格 25mm 储药槽:

3	5	33	51	58	63	77	88	104	105	110	124	137	164	166	192
195	219	227	247	290	293	305	327	338	364	367	369	370	380	415	
416	459	475	498	502	524	537	540	541	544	549	551	564	582	605	
610	625	632	661	670	682	710	752	757	827	839	856	863	894	905	
939	951	952	976	991	1015	1031	1046	1048	1061	1064	1075	1094	1108	1117	1174
1108	1117	1174	1184	1186	1220	1222	1232	1244	1259	1264	1282	1295	1304	1338	1354
1295	1304	1338	1354	1359	1371	1385	1393	1399	1411	1474	1475	1478	1484	1513	1515
1478	1484	1513	1515	1520	1521	1522	1526	1527	1567	1580	1593	1611	1615	1623	1673
1611	1615	1623	1673	1682	1684	1685	1714	1721	1723	1730	1735				

1744 1745 1769 1775 1804 1835 1879

(5) 规格 28mm 储药槽:

1	19	30	35	44	66	73	94	98	100	101	119	179	193	222	248
250	271	284	314	326	337	352	353	358	377	378	379	386	407	408	
414	478	506	510	528	550	580	583	616	618	652	653	664	675	681	
705	706	715	716	721	722	726	727	728	729	730	751	754	762	764	
767	768	778	781	793	795	796	802	813	829	864	876	917	949	1006	
1010	1021	1047	1050	1066	1090	1109	1136	1138	1155	1157	1159				
1161	1164	1178	1180	1181	1191	1207	1228	1240	1247	1248	1249	1250	1251	1325	
1330	1344	1347	1363	1365	1386	1413	1421	1440	1445	1446	1447	1448	1449	1448	
1462	1467	1492	1497	1523	1532	1533	1539	1542	1548	1551	1558				
1561	1562	1569	1575	1583	1601	1625	1649	1660	1666	1674	1681				
1686	1694	1697	1708	1748	1763	1764	1765	1766	1767	1789	1795	1831			
1875	1876	1877	1880	1886	1889	1896									

(6) 规格 31mm 储药槽:

7	55	56	69	76	106	114	134	144	146	147	178	194	213	218	
239	246	249	251	267	281	282	286	289	301	311	315	329	331	339	
343	356	381	393	427	435	451	460	469	483	486	489	493	503	522	
531	532	533	534	535	536	554	565	571	590	592	597	626	627	635	
654	663	667	689	708	738	740	741	743	753	756	776	782	804	809	810
811	837	844	868	883	887	926	946	961	979	980	992	993	1008		
1014	1024	1025	1035	1037	1038	1038	1038	1038	1038	1189	1140	1162	1163	1189	
1210	1216	1231	1242	1243	1245	1246	1246	1261	1267	1268	1269	1270			
1308	1324	1341	1356	1366	1368	1375	1381	1387	1388	1390	1392				
1396	1410	1431	1434	1435	1436	1438	1447	1479	1481	1487	1488				
1489	1493	1495	1500	1501	1505	1516	1528	1534	1544	1545	1552				
1570	1572	1576	1577	1581	1582	1587	1588	1589	1598	1609	1633				
1641	1646	1654	1655	1657	1658	1659	1662	1663	1667	1668	1669				
1671	1673	1689	1696	1716	1726	1740	1746	1747	1755	1756	1761	1766			
1774	1790	1796	1798	1801	1810	1812	1813	1817	1819	1820	1829				
1870	1871	1874	1878	1892	1893	1919									

(7) 规格 35mm 储药槽:

22	28	29	36	37	59	81	82	96	102	127	174	227	234	291	297
322	340	350	365	373	374	382	385	387	391	409	410	446	448	463	
466	480	487	488	495	504	545	558	559	560	561	562	563	567	575	
579	594	604	621	644	651	656	676	677	732	746	777	783	812	841	
850	874	882	892	919	924	929	931	960	963	970	984	986	994	1005	
1073	1098	1112	1124	1143	1147	1148	1154	1193	1213	1221	1235				
1239	1248	1252	1253	1255	1271	1276	1283	1288	1289	1301	1312				
1313	1340	1345	1358	1373	1382	1407	1414	1427	1442	1454	1485				
1496	1498	1503	1504	1506	1514	1531	1555	1563	1578	1595	1607				
1619	1621	1622	1670	1675	1676	1689	1704	1705	1706	1732	1734				

1752 1753 1773 1776 1779 1794 1806 1811 1856 1858 1859 1861
1863 1866 1888 1898 1900 1901 1903 1904 1913 1916

(8) 规格 39mm 储药槽:

10 11 12 13 14 15 16 17 39 60 74 85 139 149 156 157
160 171 176 188 212 256 257 258 259 261 295 323 328 403 447
468 474 482 497 566 578 581 586 587 591 622 630 657 659 666
701 720 739 760 803 845 867 873 888 906 915 925 938 968 982
983 988 996 997 1003 1011 1013 1028 1039 1040 1041 1042 1043
1044 1045 1089 1106 1129 1130 1150 1202 1205 1208 1215 1223
1224 1266 1284 1285 1286 1287 1326 1334 1349 1350 1398 1420
1422 1468 1499 1517 1518 1529 1541 1549 1557 1585 1672 1691
1692 1693 1722 1727 1788 1793 1814 1818 1824 1825 1826 1840
1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1850 1851 1852
1853 1854 1855 1860 1862 1869 1882 1897 1899 1915

(9) 规格 45mm 储药槽:

20 41 46 64 65 72 86 89 90 95 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162
167 172 180 189 200 202 207 224 242 245 253 276 296 300 316
330 341 383 397 421 423 429 430 452 452 452 479 500 568 584
585 588 589 598 600 611 613 614 621 643 658 660 671 672 678
688 719 747 750 817 818 819 820 824 854 858 859 860 885 893
896 904 907 916 930 941 957 958 961 966 979 981 985 989 1007
1034 1056 1058 1096 1102 1103 1103 1103 1121 1128 1158 1166 1182
1183 1190 1196 1201 1230 1236 1273 1294 1303 1306 1323 1346
1348 1351 1395 1403 1429 1434 1564 1586 1647 1677 1696 1700
1713 1728 1733 1733 1733 1767 1784 1786 1816 1821 1822 1823
1834 1839 1857 1905 1906 1907 1911

(10) 规格 50mm 储药槽:

45 53 83 92 109 128 142 150 154 155 161 170 173 181 191
201 204 206 218 311 320 329 235 238 266 307 321 375 376 389
399 406 417 418 419 431 432 433 437 438 442 455 457 458 484
487 491 492 499 501 514 529 553 573 599 608 615 628 634 640
646 646 648 649 653 703 749 755 759 772 785 789 799 800 805
814 822 825 826 842 847 865 889 897 898 900 932 933 935 937
945 948 956 965 995 1000 1054 1057 1077 1078 1084 1086 1107
1114 1115 1127 1137 1144 1167 1194 1197 1203 1229 1237 1249
1250 1251 1274 1275 1310 1317 1319 1329 1339 1362 1438 1502
1543 1559 1560 1597 1599 1605 1640 1678 1683 1690 1695 1709
1715 1724 1742 1778 1787 1799 1808 1838 1873 1881 1895 1912

(11) 规格 55mm 储药槽:

43 47 49 54 143 153 182 183 187 190 223 231 232 243 294
306 346 350 355 395 404 411 422 450 467 477 479 508 511 519
547 602 623 636 643 690 709 736 763 807 808 830 843 884 895

901 903 908 914 918 920 944 955 959 973 974 1017 1063 1091
 1093 1101 1141 1145 1165 1192 1206 1219 1233 1234 1265 1299
 1305 1311 1327 1328 1469 1508 1568 1579 1596 1613 1616 1634
 1638 1645 1687 1757 1772 1777 1809 1902 1914

(12) 规格 60mm 储药槽:

388 441 443 444 445 509 556 639 711 744 940 947 972 1026
 1110 1134 1160 1211 1218 1238 1408 1419 1606 1639 1642 1832

5.3 问题 3

根据问题一，同理可计算得到横向隔板间距类型最少时为 4 类（不发生竖向重叠和旋转），高度分别为 53, 72, 104, 129（单位 mm），相应的 matlab 程序见附录 1.3.1。

由于药盒与两侧横向隔板之间的间隙超出 2mm 的部分被归为高度冗余，则储药槽高度（即储药槽横向隔板间距）与所放药盒高度之差大于 4mm 时，为此药盒在此储药槽中的高度冗余。即第 j 个药槽类型中第 i 种药盒的高度冗余为：

$$G_{ji} = T_j - DT_{ji} - 4 \quad (9)$$

其中 T_j 为第 j 个药槽类型的高度， DT_{ji} 为其中第 i 种药盒的高度。因此，可计算得到每种类型储药槽中的总宽度冗余为：

$$G_j = \sum_i G_{ji} = \sum_i [T_j - (DT_{ji} + 4)] \quad (10)$$

由于平面冗余定义为高度冗余与宽度冗余的乘积，因此第 j 个药槽类型中第 i 种药盒的平面冗余为：

$$A_{ji} = G_{ji} * S_{ji} \quad (11)$$

其中 S_{ji} 为其宽度冗余，已在问题 2 中确定了每种药盒的储药槽宽度类型，在此可直接计算得到。因此，可计算得到第 j 个类型储药槽中的总平面冗余为：

$$A_j = \sum_i A_{ji} = \sum_i [G_{ji} * S_{ji}] \quad (12)$$

根据优化目标，问题 3 可以用模型描述为：

$$\begin{cases} \min \sum_j A_j \\ \min C_G \end{cases} \quad (13)$$

其中， C_G 为药槽的横向隔板间距类型数量。参照问题 2 的解题原理，仍然对平面冗余较大的类型进行拆分，具体步骤如下：

1. 对于第 j 种类型的储药槽，根据公式 (12) 计算其中所有药品的平面冗余为 A_j ；
2. 对于所有类型的储药槽，计算总的平面冗余为

$$A_0 = \sum_j A_j$$

3.将第 j 种类型的储药槽在高度上（横向隔板间距）按药品规格拆分为 2 段，拆分后的平面冗余分别为 A_{j1} 和 A_{j2} ，设置拆分后的平面冗余降低率为

$$k_j = [A_j - (A_{j1} + A_{j2})] / A_0 \quad (14)$$

4.当平面冗余降低率 $k_j > P$ 时，其中 P 为预先设置的阈值，表示拆分所增加的储药槽类型会引起平面冗余的大幅降低，必须保留此拆分的结果，即增加 1 个高度类型（横向隔板间距类型）；

5.当平面冗余降低率 $k_j \leq P$ 时，表示拆分所增加的储药槽类型仅会引起平面冗余的小幅降低，不必保留此拆分的结果，即此储药槽高度类型不变；

6.按上述步骤，将所有的储药槽类型都进行拆分，最后得到更新后的储药槽类型，其数量的增加会引起总平面冗余的降低。如果预先设置的阈值 P 越小，则拆分出的高度类型越多，总的平面冗余越小； P 值设置越大，则拆分出的类型越少，总的平面冗余越大。

根据上述方法，可分别设置不同的 P 值，获得不同数量的储药槽高度类型（横向隔板间距类型）下的总平面冗余值如表 6.4 所示，其 matlab 程序见附录 1.3。

表 6.4 不同高度类型数量下的总平面冗余

横向隔板间距类型数 量 (储药槽高度类型数)	总的平面冗余 (mm ²)
4	25619
5	16915
6	14171
7	11817
10	8397
12	6721
13	5581
15	5159
17	4394
18	3878
19	3752
20	3638

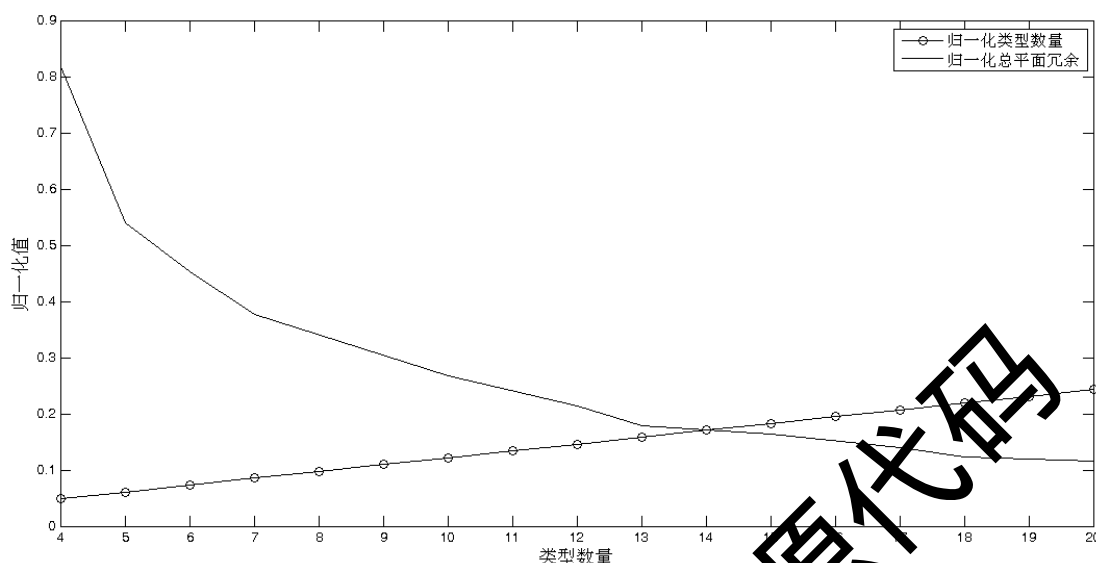


图 6.5 归一化总宽度冗余和类型数量曲线图

将表 6.4 中的数据按 (7) (8) 公式进行归一化处理, 画出曲线图, 如图 6.5 所示。由曲线图可以看出, 随着类型数量的增加, 总平面冗余一直在降低, 且降低幅度越来越小。两线相交的位置即为合理的竖向隔板间距类型 (即药槽宽度类型) 的数量, 为 13 种类型 (由于相交点与 13、14 的平面冗余值都比较接近, 取数量最少的, 即为 13), 此时总平面冗余和横向隔板间距的类型数量都为 0.13。13 种类型为合理的类型数量, 其对应的储药槽高度分别为 42, 48, 51, 61, 68, 71, 76, 80, 84, 88, 96, 104, 129 (单位 mm)。

5.4 问题 4

根据每一种药品的最大日需求量和储药槽长度 (1.5m), 在每天仅集中补药一次的情况下, 可计算出编号为 i 的药盒在一条储药槽中的数量为:

$$n_i = \text{floor}(1500 / L_i) \quad (15)$$

其中 L_i 为编号为 i 的药盒的长度。则第 i 种药品所需要的储药槽个数为:

$$C_N_i = \text{ceil}(\text{num}_i / n_i) \quad (16)$$

其中 num_i 为编号为 i 的药品的最大日需求量。计算所用的 matlab 程序见附录 1.4, 得到每一种药品需要的储药槽个数为 (以下数据从编号为 1 的药品开始):

23	13	12	8	10	9	9	5	7	6	6	6	6	6	6	6	7	7	6	7	7	5
7	6	7	5	6	6	6	6	5	5	6	5	5	4	5	4	5	5	3	4	4	5
4	3	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	2	2	3	4	4	2	4	3	4	4
4	4	3	4	4	3	3	3	4	2	2	3	2	1	4	3	3	2	3	2	3	3
3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3
3	3	2	2	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2

$$Sum_K = \sum_i [C_N_i * W_i] \quad (17)$$

其中 W_i 为同一排中第 i 种药对应的储药槽的宽度。

(5) 当摆满的排的累计高度大于等于 15mm 时, 开始摆放到新的储药柜中, 方法同上, 直至所有药品的储药槽摆放完毕;

(6) 每一种药品的储药槽类型在问题 2 和 3 中已确定, 即储药槽宽度和高度按照问题 2 和 3 的结果。

按照上述方法, 编写 matlab 程序实现穷举, 得到储药槽在储药柜中的摆放方案, 程序代码见附录 1.4, 程序可输出每个储药柜中每一排药品的编号及其储药槽数量。最后, 可计算得出摆放完所有 1919 种药品的储药槽所需要的储药槽高度为 3710mm, 最少需要 2 个储药柜。

六、模型的分析

本文提出的方法有效地解决了储药槽的最优化设计问题, 可有效减少储药槽宽度与平面冗余的同时, 保持较少的类型数量, 提高了储药槽的适应能力。尤其是问题中, 本文方法对较多需求量的药品优先摆放, 将同一种药集中摆放, 都可提高医院工作人员的发药效率和药品分拣的准确率。但是, 本文提出的方法也存在一些问题, 例如 matlab 程序在计算不同类型数量下的冗余值时, 有些类型数量的情况无法计算得到, 这主要跟算法控制的步长有关系。采用逐步分裂的迭代算法增加类型数量时, 得到的冗余值不是相同类型数量下的最小冗余值, 有所偏差。此外, 本文对问题的求解忽略了横向和竖向隔板的厚度, 忽略了储药柜竖向支撑板对储药槽的影响, 这些对于实际应用都会导致一些问题, 需要在实践中继续改善。

七、参考文献:

- [1] 韩中庚, 数学建模及其应用, 北京: 高等教育出版社, 2005。
- [2] 张斐, 药库全自动发药系统, 物流技术(装备版), 2013 (5): 1-3, 2013。
- [3] 曹卫华, 郭正伟, 最优化技术方法及 MATLAB 的实现, 北京: 化学工业出版社 2005。
- [4] 阮沈勇, MATLAB 程序设计, 北京: 电子工业出版社, 2004。