
轨检小车测量原理

轨道检测小车是一种检测静态轨道不平顺的便捷工具。它采用电测传感器、专用便携式计算机等先进检测和数据处理设备，可检测高低、水平、扭曲、轨向等轨道不平顺参数。国外铁路在动静态不平顺差异较小的高平顺线路、无碴轨道线路，以及在新线施工中，整道、检查铺设精度、验收作业质量时，广泛应用轨道检测小车。

GRP1000 测量系统主要由手推式轨检小车和分析软件包两大部分组成。即可单独测量轨道水平，轨距等相对结合参数，也可配合 LEICA TPS 全站仪来实现平面位置和高程的绝对定位测量，上述绝对定位测量通过全站仪的自动目标照准功能以及与 GRP1000 之间持续无线电通讯来完成。

测量外业完成后，系统能产生轨道几何测量的综合报表。用户可根据需要定义报表的输出界面，选择性的输出轨道位置、轨距、水平、轨向（短波和长波）、高低（短波和长波）等几何参数。GRP1000 在德国高铁竣工测量、西班牙高铁无碴轨道施工、京津城际轨道第三方检测及武广客运专线施工中得到了很好的应用。



Leica TCRP 1201 全站仪



Amberg GRP 1000S



GRP1000 轨道测量系统的测量原理

GRP1000 轨检小车精度如下：

项 目	精 度
里程	光电计数器测量方式
测量误差	$< 0.5\%$
里程分辨率	$\pm 5\text{mm}$
轨距（mm）	1435
轨距传感器量程	$-25\text{mm} \sim +65\text{mm}$
轨距传感器精度	$\pm 0.3\text{mm}$
水平传感器量程	$-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$ 换算成高差 $\pm 225\text{mm}$
水平传感器精度	$\pm 0.5\text{mm}$
水平位置和高程测量精度	$\pm 1\text{mm}$

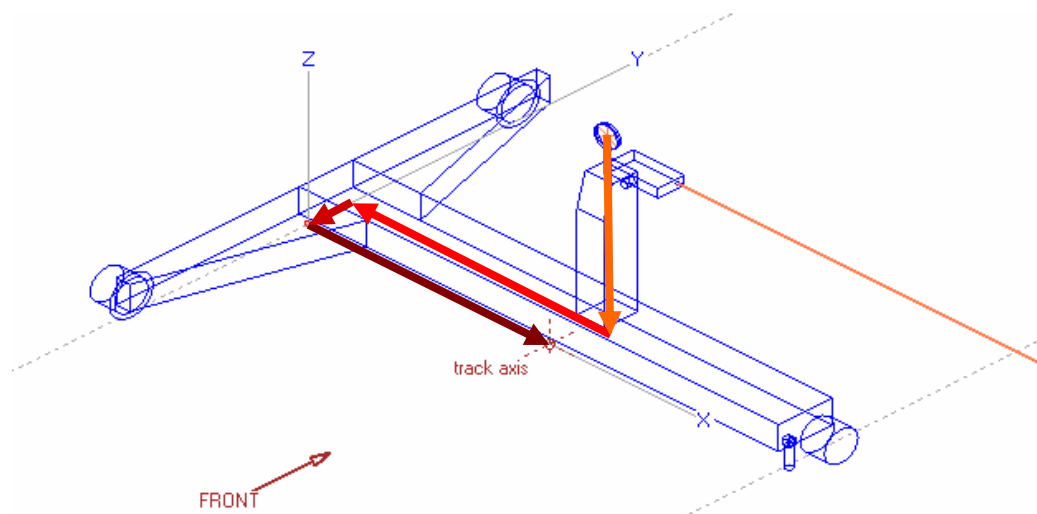
1. 检测内容及方法

1) 中线坐标及轨面高程

轨道中线坐标和轨面高程的检测，是对线路轨道工程质量状况的最基本的评价。通过检测轨道实测坐标和高程值与线路设计值进行比较得出的差值，可以全面直观的反映轨道工程质量。

在进行轨道中线坐标和轨面高程检测时，使用高精度全站仪实测出轨检小车上棱镜中心的三维坐标，然后结合事先严格标定的轨检小车的几何参数、小车的定向参数、水平传感器所测横向倾角及实测轨距，即可换算出对应里程处的中线位置和低轨的轨面高程。进而与该里程处的设计中线坐标和设计轨面高程进行比较，得到实测的线路绝对位置与理论设计之间的差值，根据技术指标对轨道的绝对位置精度进行评价。

坐标换算中所用到的轨检小车独立坐标系示意图如下。



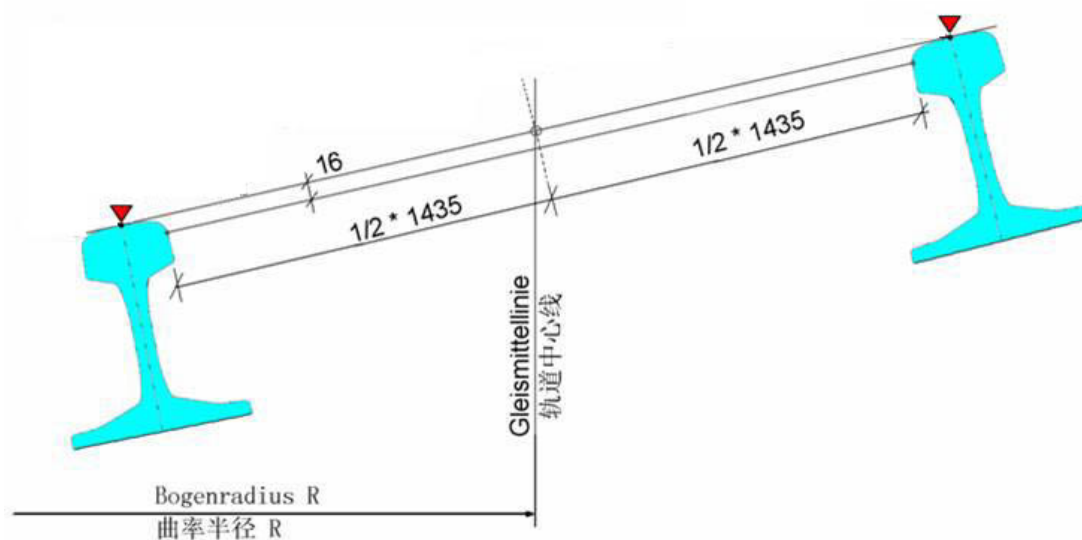
轨检小车独立坐标系示意图

2) 轨距检测

轨距指两股钢轨头部内侧轨顶面下 16mm 处两作用边之间的最小距离。轨距不合格将使车辆运行时产生剧烈的振动。我国标准轨距的标称值为 1435mm。在轨距检测时，通过轨检小车上的轨距传感器进行轨距测量。

轨检小车的横梁长度须事先严格标定，则轨距可由横梁的固定长度加上轨距传感器测量的可变长度而得到，进而进行实测轨距与设计轨距的比较。

轨距示意图如下。

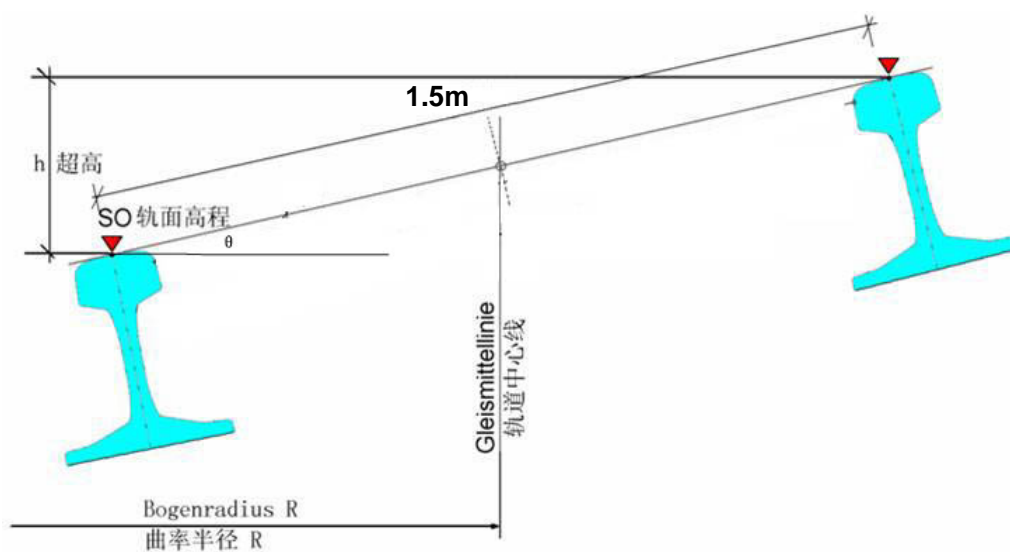


轨距示意图

3) 水平（超高）检测

列车通过曲线时，将产生向外的离心作用，该作用使曲线外轨受到很大的挤压力，不仅加速外轨磨耗，严重时还会挤翻外轨导致列车倾覆。为平衡离心作用，在曲线轨道上设置外轨超高。

检测时，由轨检小车上搭载的水平传感器测出小车的横向倾角，再结合两股钢轨顶面中心间的距离，即可求出线路超高，进而进行实测超高与设计超高的比较。在每次作业前，水平传感器必须校准。超高示意图如下。

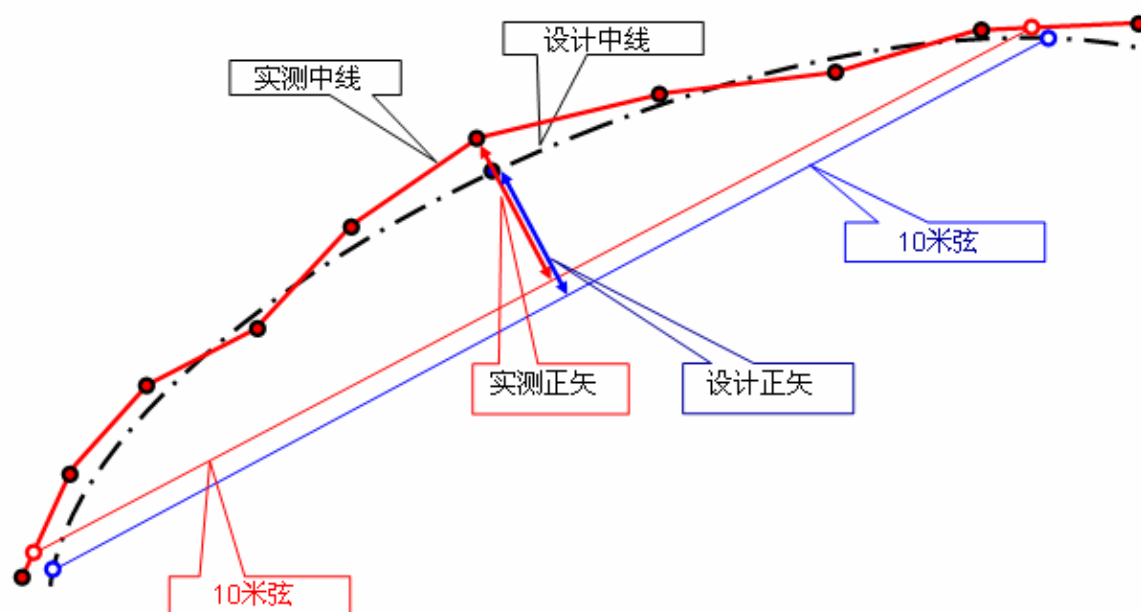


超高示意图

4) 轨向/高低检测（中国标准）

轨向指轨道的方向，在直线上是否平直，在曲线上是否圆顺。如果轨向不良，势必引起列车运行中的摇晃和蛇行运动，影响到行车的速度和旅客舒适性，甚至危及行车安全。高低是指钢轨顶面纵向的高低差。高低的存在将使列车通过这些钢轨时，钢轨受力不再均匀，从而加剧钢轨与道床的变形，影响行车速度与旅客舒适性。

实测中线平面坐标得到以后，在给定弦长的情况下，可计算出任一实测点的正矢值；该实测点向设计平曲线投影，则可计算出投影点的设计正矢值，实测正矢和设计正矢的偏差即为轨向/高低值。轨向/高低（10 米弦长为例）检测示意图如下。

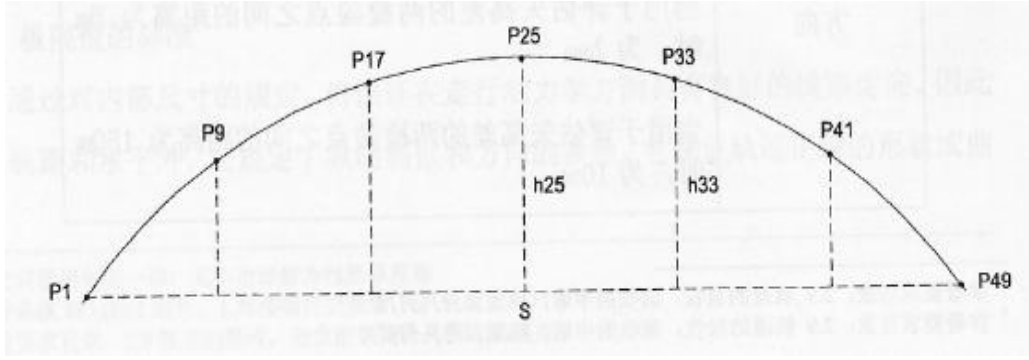


轨向/高低检测示意图

5) 短波和长波不平顺（德国标准）

a) 短波不平顺

假定钢轨支承点的间距，或者说轨枕间距为 0.625m，采用 30m 弦线，按间距 5m 设置一对检测点，则支承点间距的 8 倍正好是两检测点的间距 5m。检测示意图如下。



短波不平顺检测示意图

上图中的点是钢轨支承点的编号，以 P_1 到 P_{49} 表示。 P_{25} 与 P_{33} 间的轨向检测按下式计算：

$$\Delta h = |(h_{25\text{设计}} - h_{33\text{设计}}) - (h_{25\text{实测}} - h_{33\text{实测}})| \leq 2\text{mm}$$

由于 P_1 与 P_{49} 的正矢为零，故可检测 P_2 （对应点 P_{10} ）到 P_{40} （对应点 P_{48} ）的轨向。新的弦线则从已检测的最后一个点 P_{40} 开始。

b) 长波不平顺

假定钢轨支承点的间距，或者说轨枕间距为 0.625m，采用 300m 弦线，按间距 150m 设置一对检测点，则支承点间距的 240 倍正好是两检测点的间距 150m。检测示意图如图 7-2。

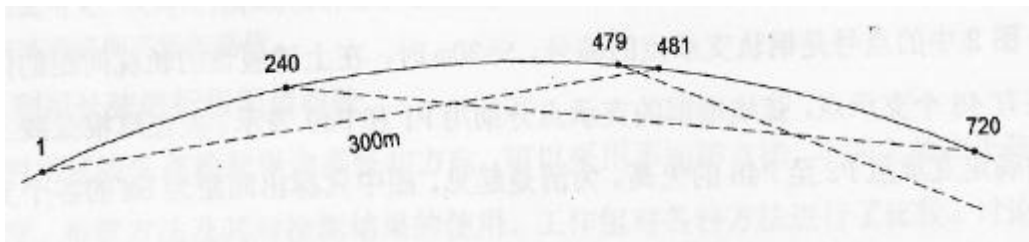


图 7-2 长波不平顺检测示意图

上图中的点是钢轨支承点的编号，以 P_1 到 P_{481} 表示。 P_{25} 与 P_{265} 间的轨向检测按下式计算：

$$\Delta h = |(h_{25\text{设计}} - h_{265\text{设计}}) - (h_{25\text{实测}} - h_{265\text{实测}})| \leq 10\text{mm}$$

由于 P_1 与 P_{481} 的正矢为零，故可检测 P_2 （对应点 P_{242} ）到 P_{240} （对应点 P_{480} ）的轨向。新的弦线则从已检测的最后一个点 P_{240} 开始。

2. 工作流程

- 1) 前往现场检测之前在计算机中对设计数据（平曲线，竖曲线，超高）复核无误后输入到测量控制软件中
- 2) 把 CPIII 成果输入到全站仪中。到达现场后对控制点进行检查，确保控制点数据(平面坐标及高程)正确无误，检查控制点是否受到破坏。
- 3) 为了确保全站仪与轨检小车之间的通视，以及测量的精度，测量区域应尽量避免其它施工作业。
- 4) 使用 8 个控制点（CPIII）进行自由设站;全站仪自由设站时，平差后东坐标、北坐标和高程的中误差应在 1mm 以内，方向的中误差应在 2 秒以内，否则应重新设站。
- 5) 进行正确的测量设置，比如高程以内轨为基准、超高以 1.5 米为基长等
- 6) 轨检小车每次测量作业之前都要对超高传感器进行校准
- 7) 全站仪搬站后前后两个区间的测量需交叠 5-10 米。
- 8) 测量完成后，输出轨道几何参数，制作报表并进行评价。可根据需要定义报表的输出内容，选择性的输出轨道平面位置、轨面高程、轨距、水平/超高、轨向（长波和短波）、高低（长波和短波）等参数的偏差。

3. 轨道精调测量质量控制措施

- 1) 严格检查设计数据（平曲线，竖曲线，超高，控制点），检核无误输入到计算机中
- 2) 到达现场后检查控制点是否发生变形或遭到破坏
- 3) 每天开始测量之前检查全站仪测量精度：正倒镜检查全站仪水平角和竖角偏差，如果超过 3 秒，在气象条件较好的情况下进行组合校准及水平轴倾斜误差（ α ）校准；检查全站仪 ATR 照准是否准确（照准偏差少于 3 秒）
- 4) 全站仪采用后方交会的方法进行设站，设站距离应控制在 70 米以内；测量条件较差时，根据具体环境缩短目标距离（建议 50—60m，实时测量结果应稳定在 0.7mm 以内）；恶劣条件下禁止作业

-
- 5) 为了确保全站仪得设站精度，建议使用 8 个控制点，如果现场条件不满足，至少应使用 6 个控制点。设站中误差为东坐标、北坐标和高程：1mm；方向：2”；与轨检小车同向的控制点自由设站计算时弃用要谨慎
 - 6) 全站仪设站的位置应靠近线路中心，不可在两侧控制点的外侧
 - 7) 设站后要使用控制点检核全站仪设站，搬站前也要再次检核，以证实此次设站测量结果的可靠性；如测量条件不佳，测量期间可增加检核次数
 - 8) 每天测量之前都要在稳固的轨道上对超高传感器进行校准，校准后可在同一点进行正反两次测量，测量值偏差应在 0.3mm 以内；如发生颠簸、碰撞或气温变化迅速，可再次校准
 - 9) 采集数据时小车要停稳，棱镜要正对全站仪；全站仪采用精确模式
 - 10) 测量时应尽量保证工作的连续性，轨检小车应由远及近靠近全站仪的方向进行测量。因为随着时间的增加，全站仪的设站的精度在降低，而测距的精度随着距离的缩短在增加。如果选择由近及远远离全站仪的方向进行测量的话，测距和设站的精度都在降低，不利于测量结果的稳定
 - 11) 测量时要实时关注偏差值，如果存在明显异常，需重复采集数据，覆盖之前采集的结果，如依然存在突变，要及时分析原因
 - 12) 全站仪搬站后进行设站时，应使用上次设站已经用过的 4-6 个控制点，以保证轨道的平顺性
 - 13) 两次设站后交叠段的重复测量偏差不应小于 2mm，交叠补偿量可参照 1mm/10m 的比例进行换算；补偿一般在下一站测量区间进行
 - 14) 如轨道粗调放样偏差较大，应避免对单点进行调整，并增加精调次数
 - 15) 最终精调和浇注的时间差超过 12 小时，需要重新复测；气温迅速升高或降低 15 度时，需要重新测量
 - 16) 浇注混凝土之前任何人对轨排位置有任何疑问，应及时通知测量人员，必要时对轨道进行随机复测