

新编 **采矿**
实用技术丛书

主 编 唐敏康
副主编 杜 效 张春雷

矿井 运输与提升

钟春晖 丁元春 编著

KUANGJING YUNSHU YU TISHENG



化学工业出版社

新编 采矿
实用技术丛书

主 编 唐敏康
副主编 杜 效 张春雷

矿井

运输与提升

钟春晖 丁元春 编著



化学工业出版社

·北京·

本书参照国内最新设计标准围绕我国矿山建设常用设备进行介绍,主要介绍了井下运输设备,包括矿车、电机车、带式输送机的类型、基本结构、选型计算、技术上的使用特点;矿井提升设备,包括竖井提升设备的构造、选型设计、运动学和动力学等。使读者能够运用最新的相关标准对矿井运输与提升系统进行计算、设计及设备选型。书末还附有最新的常用设备选型参数表,方便查阅。

本书可供矿山领域技术人员参考,也可作为采矿工程专业及相关专业的教材用书。

图书在版编目(CIP)数据

矿井运输与提升/钟春晖,丁元春编著. —北京:化学工业出版社, 2013. 4

(新编采矿实用技术丛书)

ISBN 978-7-122-16577-0

I. ①矿… II. ①钟…②丁… III. ①井下运输②矿井提升 IV. ①TD5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第030049号

责任编辑:刘丽宏
责任校对:吴静

文字编辑:汲永臻
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张15½ 字数322千字 2013年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

丛书前言

20 世纪以来，矿产资源被人类持续、大规模、掠夺性地开发，资源枯竭与社会需求的矛盾日显突出。如何保持矿产资源的可持续发展和利用已成为国家层面上的重要课题，而作为矿业工作者，我们的责任就在于如何更科学、合理、高效地开采矿业。

采矿工业是一种最基础的原材料工业，在人类现代文明的进程中，采矿业是最早兴起的工业之一。采矿工程是一个庞大而且复杂的系统工程，牵涉面很广，综合性很强。除采矿方法本身以外，它由开拓、运输提升、供电、排水、充填、供气、供水和通风系统等 8 大系统构成，缺一不可。采矿生产是从地壳中将可利用物质开采出来的行为、过程或作业，直接为矿物加工工程提供矿石，然后成为能源、冶金、化工、建材等行业的原料。而要完成这样一种工程行为，劳动者和管理者必须对采矿工艺流程和支撑采矿工程的相关专业知识有足够的了解和掌握。

《新编采矿实用技术丛书》（下简称《丛书》）是在原《采矿实用技术丛书》的基础上重新编著的。《丛书》根据我国矿山企业生产的发展特点和实际需求进行改编，增加了采矿生产技术的最新研究成果，并新增了矿山法律法规解读和矿山数字化方面的内容。全书共有 11 个分册，即《矿床地下开采》、《矿床露天开采》、《矿山地压测试技术》、《井巷工程》、《矿山工程爆破》、《矿井运输与提升》、《矿井通风与防尘》、《矿山安全工程》、《矿山工程机械》、《计算机在矿业中的应用》和《矿山安全生产法规读本》。

《丛书》结合矿山生产实际，强调实用性与可操作性。从采矿的基础知识入手，深入浅出，图文并茂，通俗易懂，可读性强。《丛书》分册作者具有多年的教学和科研实践经验，从而使图书的内容更符合矿山技术人员的需求，也为生产管理人员提供了有益的借鉴。

《丛书》适合矿山采矿工程技术人员、劳动者、矿山企业领导、技术和安全生产管理人员阅读，也可作为矿山企业采矿工程的培训教材。同时，也可选作矿业类大专院校相关专业教材或教学参考书。

编者

前言

国民经济的高速发展促进了矿业经济的发展，同时也对矿山开发提出了更高的要求。我国地下矿山为数众多，运输与提升系统是地下采矿八大系统之一，其成本约占地下开采矿石总成本的 30%~40%，因此，对地下矿山而言，矿山运输与提升系统设计是否合理在一定程度上决定矿山的生产能力及经济效益，在矿山开发中具有举足轻重的作用。

《矿井运输与提升》是《新编采矿实用技术丛书》的一种。

本书内容包括井下运输设备及矿井提升设备两部分。井下运输设备主要介绍矿车、电机车、带式输送机的类型、基本结构、选型计算、技术上的使用特点，以及井底车场线路设计等；矿井提升设备部分主要介绍竖井提升设备的构造、选型设计、运动学和动力学。

本书围绕我国矿山建设常用设备进行介绍，尽量参照国内最新设计标准，并考虑到当前矿山生产设备的更新换代，对涉及内容进行了适当充实，使读者能够运用最新的相关标准对矿井运输与提升系统进行计算、设计及设备选型。书末还附有最新的常用设备选型参数表，方便广大工程技术人员查阅。本书可作为采矿工程专业及相关专业的教材用书。

本书在编著过程中得到江西理工大学资源与环境工程学院采矿教研室的大力支持，同时参考了许多书籍和论文，在此向有关单位及作者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限及时间仓促，书中不足之处难免，敬请同行专家和读者批评指正。

编著者

第1章 矿井轨道 1

1.1 轨道结构	1
1.1.1 钢轨	2
1.1.2 轨枕	3
1.1.3 道床	4
1.1.4 连接零件	4
1.2 轨距和轨道的坡度	5
1.2.1 轨距	5
1.2.2 轨道的坡度	6
1.3 弯道和道岔	6
1.3.1 弯道	6
1.3.2 道岔	10
1.4 线路分岔连接点的平面布置和计算	13
1.4.1 单向分岔点连接	13
1.4.2 双线单向连接	14
1.4.3 双线对称连接	14
1.4.4 三角岔道连接	15
1.4.5 线路平移的连接	16
1.4.6 分岔平移连接	17

第2章 矿用车辆 18

2.1 概述	18
2.1.1 矿用车辆的分类	18
2.1.2 矿用车辆的主要结构参数及构造	18
2.2 矿车的主要类型	20
2.3 人车	24
2.4 矿车运行阻力	26
2.4.1 基本阻力	26

2.4.2	附加阻力	27
2.4.3	矿车自溜运行	27
2.5	矿车的选择和矿井矿车数的计算	28
2.6	矿车清底措施	29

第3章

轨道运输的辅助机械设备

31

3.1	翻车机	31
3.1.1	前倾式翻车机	31
3.1.2	圆形翻车机	32
3.1.3	侧卸式翻车机	34
3.2	推车机	34
3.2.1	链式推车机	35
3.2.2	钢绳推车机	36
3.2.3	风动推车机	37
3.2.4	液压推车机	37
3.2.5	钢绳推车机选择计算	38
3.3	爬车机	40
3.3.1	链式爬车机	40
3.3.2	钢绳爬车机	40
3.4	阻车器和限速器	41
3.4.1	阻车器	41
3.4.2	限速器	42

第4章

机车运输

44

4.1	概述	44
4.2	矿用电机车的机械设备及电气设备	48
4.2.1	矿用电机车的机械设备	48
4.2.2	矿用电机车的电气设备	52
4.3	列车运行理论	57
4.3.1	列车运行的基本方程式	57
4.3.2	电机车的牵引力	59
4.3.3	电机车的制动力	61
4.4	电机车运输计算	63
4.4.1	电机车的选择	63

4.4.2	原始资料	63
4.4.3	确定电机车牵引的矿车数	64
4.4.4	矿车组成的验算	67
4.4.5	电机车台数的确定	68
4.4.6	蓄电池式电机车的计算	69
4.4.7	运行图表及单双线路的确定	70
4.5	牵引变流所容量的计算及硅整流设备的选择	71
4.6	电机车的使用	73
4.6.1	电机车的使用	73
4.6.2	提高电机车运输能力的主要措施	73
4.6.3	电机车的维修	74
4.7	电机车运输计算实例	75

第5章

井底车场

79

5.1	概述	79
5.2	竖井井底车场	80
5.2.1	井底车场的形式	80
5.2.2	井底车场的选择	81
5.2.3	井底车场线路平面布置及计算	82
5.2.4	井底车场线路纵断面计算	87
5.2.5	井底车场通过能力	92
5.3	斜井井底车场	94
5.3.1	甩车道的布置方式	95
5.3.2	斜井及甩车道钢轨和道岔的选择	98
5.3.3	斜井甩车道的参数选取	98
5.3.4	甩车道设计计算	99

第6章

带式输送机

103

6.1	概述	103
6.2	带式输送机的结构原理	104
6.2.1	带式输送机及其基本组成	105
6.2.2	输送带	105
6.2.3	托辊	111
6.2.4	驱动装置	114

6.2.5	机架	118
6.2.6	拉紧装置	120
6.2.7	制动装置	120
6.2.8	清扫装置	123
6.2.9	装载装置	123
6.3	带式输送机的传动原理	124
6.3.1	胶带的摩擦传动原理	124
6.3.2	传动装置的牵引力	126
6.3.3	双滚筒传动牵引力的分配	127
6.4	带式输送机的设计与计算	131
6.4.1	原始数据及工作条件	131
6.4.2	输送能力及相关参数	132
6.4.3	运行阻力	135
6.4.4	胶带张力、托辊间垂度计算及胶带强度校核	139
6.4.5	带式输送机所需的传动功率	140
6.4.6	带式输送机的计算实例	141
6.5	特种带式输送机	143
6.5.1	钢丝绳牵引带式输送机	143
6.5.2	中间多驱动带式输送机	151
6.5.3	圆管式胶带输送机	152
6.5.4	大倾角带式输送机	153
6.5.5	气垫带式输送机	154

第7章

竖井单绳提升

157

7.1	概述	157
7.2	提升容器	159
7.2.1	罐笼	159
7.2.2	箕斗及其装载装置	164
7.2.3	平衡锤	165
7.2.4	提升容器的选型	166
7.2.5	提升容器规格的选择	167
7.3	提升钢丝绳	168
7.3.1	提升钢丝绳的结构	168
7.3.2	钢丝绳的分类	168
7.3.3	单绳缠绕式(无尾绳)竖井提升钢丝绳的选择计算	170
7.4	矿井提升机及天轮	173

7.4.1 单绳缠绕式提升机	173
7.4.2 天轮	181
7.5 提升机与井筒的相对位置	181

第8章

184

竖井多绳提升

8.1 概述	184
8.2 多绳提升机	186
8.3 多绳提升容器	188
8.3.1 多绳罐笼及箕斗	188
8.3.2 悬挂装置	189
8.4 多绳提升设备的选择	191
8.4.1 主要计算参数	191
8.4.2 钢丝绳的选择	192
8.4.3 提升机的选择	192
8.4.4 衬垫材料单位压力的验算	193
8.4.5 衬垫材料与钢丝绳的摩擦系数 μ 的确定	193
8.4.6 钢丝绳与主导轮之间的围包角 α 的确定	193
8.4.7 防滑安全系数的验算	193
8.4.8 井塔高度的确定	197

第9章

199

提升设备的运动学和动力学

9.1 提升速度的确定	199
9.2 提升设备的运动学	200
9.2.1 罐笼提升运动学	200
9.2.2 箕斗提升运动学	202
9.3 提升设备的动力学	205
9.3.1 提升静力学及提升系统的静力平衡问题	205
9.3.2 变位质量的计算	207
9.3.3 罐笼提升动力学	209
9.3.4 箕斗提升动力学	211
9.3.5 平衡锤单容器提升的动力方程式	213
9.4 提升电动机容量及提升设备电耗的计算	214
9.4.1 提升电动机容量的计算	214
9.4.2 提升设备电耗及效率的计算	217

9.5 提升设备选型计算实例	218
9.5.1 箕斗的选择	219
9.5.2 钢丝绳的选择	219
9.5.3 提升机及天轮的选择	219
9.5.4 提升机与井筒相对位置	220
9.5.5 提升运动学	221
9.5.6 提升动力学	222
9.5.7 提升电动机容量计算和校核	224
9.5.8 电能消耗及每千牛矿石电耗	225

附录

226

附录 1 冶金矿山竖井单绳罐笼系列型谱	226
附录 2 冶金矿山竖井多绳罐笼系列型谱	227
附录 3 金属矿用单绳箕斗规格表	228
附录 4 金属矿用多绳箕斗规格表	228
附录 5 钢丝绳 6×19 类力学性能	229
附录 6 其他用途密封钢丝绳结构及破断力	229
附录 7 单筒缠绕式矿井提升机基本参数	230
附录 8 双筒缠绕式矿井提升机基本参数	231
附录 9 JK 型单绳缠绕式提升机技术参数	232
附录 10 落地式多绳摩擦式提升机基本参数	234
附录 11 井塔式多绳摩擦提升机基本参数	235

参考文献

236

第1章

矿井轨道

轨道运输一般是指机车运输，是目前我国金属矿山井下长距离运输的主要方式，担负的基本任务是运送矿石、废石、材料、设备和人员等。它是矿井运输系统的重要组成部分，同时也是决定矿山生产能力的主要因素之一。轨道运输的运距不受限制，运输成本低，便于矿石分类运输。但轨道运输是不连续的，生产效率取决于运输设备、调度及管理水平，适用的巷道坡度不能太大（一般为 $3\% \sim 5\%$ ），线路坡度太大时运输安全难以保证。

轨道运输的主要设备有轨道、矿车、牵引设备和辅助机械设备等，其中牵引设备绝大多数矿山都以电机车尤其以架线式电机车为主。

1.1 轨道结构

轨道的作用是把车轮的集中载荷传播、分散到巷道的底板上，使列车沿轨道平稳、高速运行。架线式电机车的轨道不仅是电机车、矿车的运行轨迹，同时也是回电电流的导体，是架线电机车供电牵引网络的重要组成部分。铺设轨道是为了减小车辆运行的阻力。轨道铺设应牢固而平稳，并具有一定的弹性，以缓和车辆运行的冲击，延长轨道和车辆的使用年限。

轨道铺设的质量，是列车能否正常行驶的关键。因此，轨道线路应力求平直，在拐弯的地方，在可能的情况下尽可能采用较大的曲线半径，减少列车运行阻力，同时避免过多的线路起伏，以免增加列车运输的困难。

矿井轨道是由上部建筑和下部建筑所组成。上部建筑包括钢轨、轨枕、道床和连接零件；下部建筑就是巷道底板。一般巷道底板应为稳定、坚硬岩石，当巷道穿软弱岩层时，应对底板进行处理，否则，巷道底板的不稳定会使轨道变形而遭到破坏。矿井标准窄轨的结构见图 1-1。

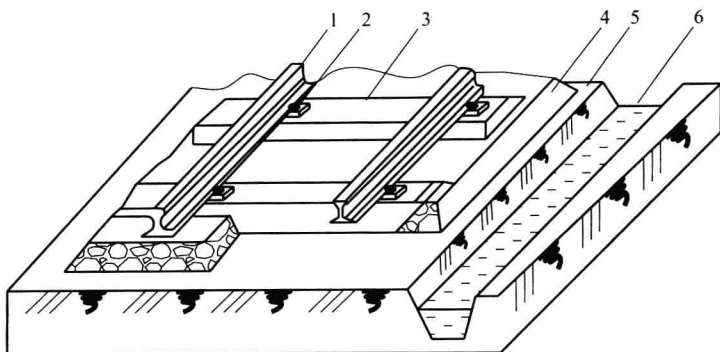


图 1-1 标准窄轨的结构

1—钢轨；2—道钉；3—轨枕；4—道床；5—底板；6—水沟

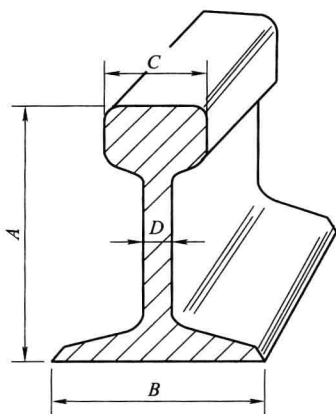


图 1-2 钢轨

A—钢轨高度；B—轨底；
C—轨头宽度；D—轨腰厚度

1.1.1 钢轨

钢轨是上部建筑的重要组成部分之一。它不仅引导车辆运行，而且直接承受载荷，并经轨枕将载荷传递给道床及巷道底板。钢轨也形成平滑而坚固的轨道，减小了列车的运行阻力。

钢轨断面一般是工字形，钢轨由轨头、轨腰和轨底组成。如图 1-2 所示。钢轨要承受机车、车辆的压力及冲击载荷，必须具有足够的强度、硬度和韧性以及良好的焊接性能。

钢轨的型号是以每米长度的质量 (kg/m) 表示。矿用标准钢轨的规格见表 1-1。钢轨质量越大，强度越大，稳定性越好。钢轨型号的选择与运输量、机车质量、矿车容积、使用地点、行车次数和行车速度有关，一般可按表 1-2 选取。

表 1-1 矿用标准钢轨的规格

钢轨型号 /(kg/m)		断面尺寸/mm				断面面积 /mm ²	理论质量 /(kg/m)	标准长度 /m
		高	底宽	顶宽	腰厚			
轻轨	8	65	54	25	7	1076	8.42	5~10
	11	80.5	66	32	7	1431	11.20	6~10
	15	91	76	37	7	1880	14.72	6~10
	18	90	80	40	10	2307	18.06	7~12
	24	107	92	51	10.9	3124	24.46	7~12
重轨	38	134	114	68	13	4950	38.733	12.5
	43	140	114	70	14.5	5700	44.653	12.5, 25

表 1-2 运输量与机车质量、矿车容积、轨距、轨型的一般关系

运输量 /(10 ⁴ t/a)	机车质量 /t	矿车容积 /m ³	轨距 /mm	钢轨型号 /(kg/m)
<8	1.5	0.5~0.6	600	8
8~15	1.5~3	0.6~1.2	600	8~11
15~30	3~7	0.7~1.2	600	11~15
30~60	7~10	1.2~2.0	600	15~18
60~100	10~14	2.0~4.0	600,762	18~24
100~200	14,10,20 双机车牵引	4.0~6.0	762,900	24~38
>200	14,10,20 双机车牵引	>6.0	762,900	38

注：选择主平硐的运输设备时亦按年运输量选取，并取表中的上限值。

1.1.2 轨枕

轨枕用于固定和支承钢轨，使两根钢轨始终保持一定的距离，防止轨道产生横向和纵向移动，保持轨道的稳定性，并将钢轨的压力较均匀地传递给道床。

轨枕有木质的、钢筋混凝土的和金属的三种。

木质轨枕能很好地保证轨道的稳定性，加工制作方便，具有足够的强度和弹性，以及钢轨在轨枕上的固定简便等，但木质轨枕容易腐朽，所以，通常应进行防腐处理，以延长它的使用年限。木轨枕规格见表 1-3。

表 1-3 木轨枕规格

轨距 /mm	轨型 /(kg/m)	长度 /mm	宽度/mm		高度 /mm
			上宽	下宽	
600	15,18	1200	150	150	120
		1200	120	150	120
	24	1200	160	160	140
		1200	130	160	140
762	15,18	1500	150	150	120
		1500	120	150	120
	24	1500	160	160	140
		1500	130	160	140
900	15,18	1600	150	150	120
		1600	120	150	120
	24	1600	160	160	140
		1600	130	160	140
允许偏差		±20	-10	-10	±10

钢筋混凝土轨枕使用寿命长，维修费用少；抗压强度高；抗腐蚀性能好；取材和制造均方便。但它的质量大、导电；增大轨道的整体刚度；铺设及修理的劳动强

度大。为节省宝贵的木材资源，主要运输巷道尽可能用钢筋混凝土轨枕，为了减少钢筋混凝土的导电性，可在垫板和轨枕之间放置绝缘板，例如橡胶、压缩木板和夹布胶木等制成的绝缘垫。钢筋混凝土轨枕主要规格见表 1-4。

表 1-4 钢筋混凝土轨枕主要规格

轨型 /(kg/m)	轨枕厚 /mm	顶面宽 /mm	底面宽 /mm	长度/mm		
				轨距 600	轨距 762	轨距 900
11、15	130	120	140	1200	1350	1700
18	130	160	180	1200		
18	150	180	200			
24	145	170	200			
38	145	170	200			

金属枕价格较高。目前我国地下矿山不采用这种轨枕。

轨枕间距一般小于 0.8m。两根钢轨接头处应悬空，且轨枕间距应较一般间距缩短一些。

1.1.3 道床

由道渣层组成的道床承受钢轨传来的压力，并均匀地分布到轨道的下部建筑上去。道床将轨道的上部建筑和下部建筑连接成一个整体，防止轨道的纵、横向移动，以保持线路纵、横剖面的正常状态。为了保证道床的这些性能良好，除道渣材料质量符合要求外，道床应具有一定的厚度。

道床材料必须是坚固、不潮解、不积水的材料。最好的道床料是碎石。碎石粒度为 20~40mm。在水平及倾角 10°以下的巷道内，轨枕下面的道床厚度不得小于 150mm；在倾角大于 10°的斜巷内，应在底板上挖轨枕沟，其深度约为轨枕厚的 2/3，轨枕下面的道床厚度不得小于 50mm。道床上部的宽度，应超出轨枕 50~100mm。

1.1.4 连接零件

连接零件的用途是在纵向把钢轨接在一起，并将钢轨固定在轨枕上。连接零件有鱼尾板（道夹板）、螺栓、垫板及道钉。

钢轨之间的连接是用鱼尾板及螺栓。在钢轨两端的轨腰上和鱼尾板上有椭圆形孔眼，以适应钢轨因温度变化而引起的伸长或缩短。为此，在钢轨接头处应留有不大于 5mm 的间隙。钢轨接头应放在两根彼此靠近的轨枕之间。否则，会因列车往来行驶使处于接头下面的轨枕反复受到两个方向不同的偏心冲击而松动。

用架线式电机车运输时，为了减少钢轨接头处的电压降，一般在鱼尾板内镶有接触铜片，或者用导线焊接上。

钢轨接头是轨道最薄弱的地方。使用鱼尾板和螺栓连接时，不仅需要经常检查和维护钢轨接头，而且当车辆行经钢轨接头时会产生冲击和振动，使钢轨接头和车

辆的磨损加快, 车辆不能平稳运行, 降低车辆运行的安全性, 缩短车辆的寿命。焊接接头能避免上述缺点, 即把 4~5 节钢轨焊接成一组, 而每组间再用鱼尾板及螺栓连接。这样可以因车辆运行平稳而提高车辆运行速度, 减少车轮与轨头的撞击次数, 并可提高钢轨的导电性能。其缺点是不易拆卸和修理。这种焊接钢轨一般用于服务年限长、生产能力较大的井底车场或主要运输巷道中。

钢轨与轨枕的连接是通过道钉打入轨枕后用钉头将轨底紧紧压在轨枕上面。

当使用电机车牵引大容积矿车时, 为加强钢轨与轨枕之间的连接, 并增大轨枕受压面积, 在钢轨接头处、弯道和道岔处, 应在钢轨与轨枕之间铺设铁垫板。

1.2 轨距和轨道的坡度

1.2.1 轨距

轨距是指直线轨道上两条钢轨轨顶内侧垂直平面间的距离 (见图 1-3)。我国金属矿井下的标准轨距为 600mm、762mm 和 900mm。新设计的矿山, 必须采用标准轨距。采用标准轨距, 对于矿车的统一、提高矿车的制造质量以及巷道的标准化都有重大意义。标准轨距的选择见表 1-2。

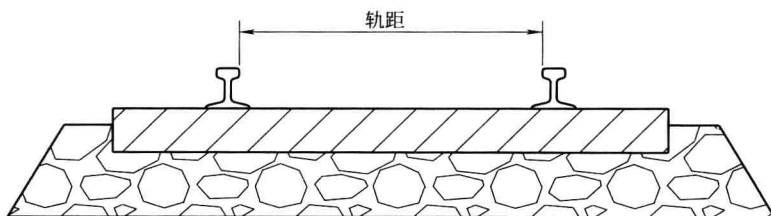


图 1-3 轨道的轨距

为使机车车辆的轮对在沿着钢轨滚动时不会被楔住, 轨顶内侧垂直平面与车轮轮缘之间必须留有一定的间隙, 所以

$$S_g = S_t + \delta = b + 2t + \delta \quad (1-1)$$

式中, S_g 为轨距, mm; S_t 为轮缘距, mm; δ 为轮缘间隙, mm; b 为车轮轮缘内侧间距, mm; t 为轮缘厚度, mm。

若轮缘距的装配公差为 ${}_{-\Delta S'_t}^{+\Delta S_t}$ mm, 轨距铺设的容许偏差为 ${}_{-\Delta S'_g}^{+\Delta S_g}$ mm, 一个车轮轮缘的允许磨损值为 Δt mm, 则轮缘间隙的最小及最大值分别为

$$\delta_{\min} = \delta - \Delta S_t - \Delta S'_g \quad (1-2)$$

$$\delta_{\max} = \delta + \Delta S'_t + \Delta S_g + 2\Delta t \quad (1-3)$$

例如, 对于 600mm 轨道, 轨距为 600^{+3}_2 mm, 轮缘距为 594^{+2}_4 mm, 一个车轮轮缘的容许磨损量为 6mm, 则轮缘间隙的最小及最大值分别为:

$$\delta_{\min} = 6 - 2 - 2 = 2\text{mm}$$

$$\delta_{\max} = 6 + 4 + 3 + 2 \times 6 = 25\text{mm}$$

1.2.2 轨道的坡度

轨道线路的坡度是线路纵断面上相邻两点的高度差与这两点间的水平距离之比，通常以千分数表示。

设一条线路的起点标高为 H_1 (m)，终点标高为 H_2 (m)，两点间的线路水平距离为 L (m)，则这条线路的平均坡度 (i_p) 为：

$$i_p = \frac{1000(H_2 - H_1)}{L} = \frac{1000(i_1 l_1 + i_2 l_2 + \dots + i_n l_n)}{l_1 + l_2 + \dots + l_n} \quad (1-4)$$

式中， i_1 、 i_2 、 i_3 为各段线路的坡度，‰； l_1 、 l_2 、 l_3 为各段线路的长度，m。

轨道线路的坡度主要是由井下排水的需要决定的，一般为 3‰~10‰。如果坡度小于 3‰，巷道排水较困难；坡度过大，电机车将难以牵引车组上坡运行，而且制动困难、不安全，轨道与车辆轮缘磨损严重。

随着轨道坡度的增加，空列车上坡时的运行阻力增加，重列车下坡时的运行阻力减小。最理想的轨道线路坡度就是等阻坡度。所谓等阻坡度，就是重列车下坡时的运行阻力等于空列车上坡时的运行阻力的线路坡度。因为重列车与空列车运行阻力相等，所以所需牵引力也相等。这对于充分利用牵引电动机的容量有很大意义。

在设计井下轨道线路时，一般按 3‰的坡度考虑。

1.3 弯道和道岔

1.3.1 弯道

1.3.1.1 弯道的表示及铺设

在轨道平面图上，弯道的转角，即两直线线路的夹角 α ，如图 1-4 所示。

已知中心角（即转角） α 及弯道半径 R ，即可计算出相应的曲线段弧长 L (MN) 和切线长度 T 。由几何关系得出下列公式：

曲线段弧长

$$L = \frac{\pi \alpha R}{180} \quad (1-5)$$

切线长度

$$T = R \tan \frac{\alpha}{2} \quad (1-6)$$

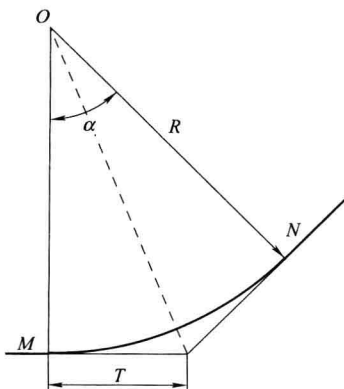


图 1-4 弯道平面

弯道特征用中心角 α 、曲线半径 R 、曲线段弧长 L 、切线长度 T 等参数来表示，在设计图中应集中标注并标出曲线的中心 O 。井下铺设弯道所用的弯轨是在地面预先用弯道器弯好的。内、