

电气化铁路既有有线扩堑石方控制爆破 安全快速施工技术

何广沂, 荆山, 王兆友

(铁道建筑研究设计院, 北京 102600)

[摘要] 电气化铁路既有有线扩堑石方爆破, 其爆破环境、地形地质、工程量等要比城市中的岩石爆破或基础拆除爆破复杂困难得多, 规模大得多; 由于有电接触网和距既有有线线间距小, 也比非电气化铁路既有有线扩堑爆破复杂困难得多。针对电气化铁路既有有线扩堑的特点而采取的先进实用有创造性的技术, 从而达到安全快速施工的目的。

[关键词] 电接触网; 既有有线; 扩堑; 石方控制爆破; 非电起爆; 安全快速

[中图分类号] V475; V476 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2000) 01-0000-00

1 前言

截止 1997 年底, 我国铁路运营线总延长为 6.6×10^4 km, 居亚洲第一位。其中电气化铁路为 1.2×10^4 km, 最长的是株(洲)六(盘水)电气化铁路, 是单线, 长 1 141 km, 地处湘西和贵州境内的山区。为提高株六电气化铁路的运输能力, 于 1998 年开始进行集中改建, 即把单线扩建双线。扩建双线重点工程是扩堑石方爆破。

株六线扩堑石方爆破不同于城市中岩石爆破, 后者地形平坦, 爆破时不怕岩石塌散。而前者由于紧靠既有有线, 绝对不允许爆破后的岩石塌散, 否则“侵线”造成行车中断; 后者如有电力线, 一般在爆破体顶上几米高, 而后者低于或高于电接触网均存在, 而且离的更近, 约 2 m; 后者岩性单一, 而前者地质复杂, 有溶洞、孤石、土夹层; 前者比后者爆破方量大而集中, 出现安全事故的机率高; 前者比后者地势险峻, 施工作业场地狭窄; 前者行车密度大, 爆破施工时不能影响行车正常运行, 而后者可暂中断交通。经对比可知, 株六电气化铁路既有有线扩堑石方控制爆破要比城市岩石爆破复杂困难多。

株六电气化铁路既有有线扩堑爆破与衡(阳)广(州)铁路既有有线(非电气化铁路)扩堑爆破相比, 前者堑高坡陡, 线间距小, 有电接触网, 扩堑线长、工点多、方量大, 行车密度大, 爆破施工难度更大。

因此, 电气化铁路既有有线扩堑石方控制爆破安全快速施工技术的研究是很有现实意义和非常必要的。须指出的是, 结合株六线电气化铁路既有有线扩堑爆破所研究的“石方控制爆破安全快速施工技术”, 是在宝(鸡)成(都)电气化铁路既有有线扩堑爆破之后, 而宝成线扩堑爆破所采取方法和技术基本与衡广一样。本文重点介绍与衡广、宝成两线相比, 在扩堑爆破方面的技术突破与创新, 从而达到比衡广、宝成两线扩堑爆破更安全、更快速、施工工效更高、施工质量更好的目的。

2 工程概况

本工程项目从增建第二线娄底(相邻株洲)中铁 19 局管段开始, 一直至增建第二线终点六盘水中铁 11 局为止, 长约 300 余公里, 石方扩堑爆破工点 207 个, 爆破量 $206.82 \times 10^4 \text{ m}^3$, 经课题组与施工单位精心设计、精心施工, 现已安全快速地完

成了任务,为增建第二线争取了工期,完成了课题研究任务。

2.1 工程数量

株六电气化铁路增建第二线由铁道部第四勘测设计院设计的,设计文件中规定^[1],“增建第二线工程开挖石方,自既有线路基缘向外 50 m 以内,中间无自然屏障的石方按控制爆破考虑:

A 类控爆,线间距 ≤ 5 m,岩石程度 $\geq V$ 级次坚石和坚石,无挖高度超过电气接触网,开挖厚度 ≤ 4 m,采用临时栅洞防护;

B 类控爆,不满足 A 类条件,但线间距 < 10 m,采用直立排架防护栏或 SNS 防护网防护;

C 类控爆,不满足 A 类及 B 类,但属控爆范围内石方爆破均为 C 类控爆。”

鉴于上述规定,课题组的研究任务侧重于以各个局的 A 类控爆工点为主,而以 B 类及 C 类控爆工点为辅。在株六线湖南境内,中铁 16 局管段石方控爆 $37.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,我们把 K401+700~K402+619 区段长 879 m 深路堑扩堑石方控爆 66090 m^3 为主;中铁 17 局管段石方控爆 $18.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,把 K159+680~K159+860 区段长 180 m 深路堑扩堑石方控爆 988 m^3 主。在株六线贵州境内,中铁 11 局管段石方控爆 $40.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,把六盘水枢纽引入线梅花山车站扩堑石方控爆 52 700 m^3 为主;中铁 14 局管段石方控爆 $24.4 \times 10^4 \text{ m}^3$,把 K63+700~K64+200 区段长 500 m 高边坡扩堑光面爆破 5 610 m^3 为主;中铁 15 局管段石方控爆 $37.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ (含湖南境内),把 D II K139+420~D II K139+590 区段长 170 m 深路堑扩堑石方控爆 13 446 m^3 为主。

上述 5 个工程局石方控爆合计爆破石方为 $158.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。对株六线中铁 12、18 和 19 局扩堑石方控爆,课题组多次到爆破工点指导并推广石方控爆技术,这 3 个局石方控爆合计爆破石方为 $48.12 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。截止 1999 年底,株六全线建总所属 8 个工程局已安全快速地完成石方控爆 $206.82 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2.2 地形地质

株六电气化铁路贯穿于湖南湘西和贵州的崇山峻岭,既有线路堑地形显著特征是堑深坡陡,而增建第二线扩堑宽度又狭窄。

扩堑深度一般为 20 m 左右,最深达 55 m。扩堑的既有坡度为 1:0.1~1:0.8,多数工点为 1:0.1

~1:0.3,设计坡度为 1:0.3:1:0.5,如图 1 所示。

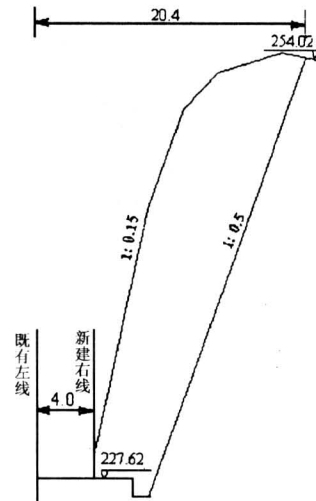


图 1 K401+820 扩堑的坡度

ig.1 Slope of expanding the cutting at K401+820

扩堑工点的地质为石质,岩石种类多为石灰岩,岩石程度为 V 级次坚石和坚石,岩石中有溶洞、孤石和土夹层,地质构造复杂。由于既有线路堑原来采取药壶和洞室爆破开挖,岩石裂缝多,边坡不稳定,这给扩堑带来一定困难。扩堑顶覆盖层极薄,多次露出石头,堑顶呈石笋,颇似石林。

2.3 爆破环境

株六线数十个扩堑石方爆破工点,增建第二线与既有线路间距仅为 4 m,这是所有双线铁路线间距最近的,而且扩堑的坡脚距既有线路钢轨最近为也有 2 m,多数工点的路堑坡脚的水沟与既有线路石碴连在一起,扩堑与既有线路靠的如此近,给扩堑爆破确保既有线路安全带来极大困难;电气接触网高于既有线路钢轨 6.5 m,而扩堑高度远高于接触网,而且扩堑坡面距接触网水平距离最近仅为 2 m;既有线路每天行车为 38 对,行车密度高,爆破施工干扰大,给爆破带来一定困难,影响施工进度。

3 爆破设计

3.1 工程特点

根据株六电气化铁路既有线路扩堑地形地质和爆破环境,其爆破扩堑工程有以下特点:

扩堑石方控制爆破工点,紧靠电气化既有线路,线间距极小;

堑高坡陡,悬崖峭壁,有反坡,扩堑宽度狭

窄；

岩性变化大，岩体中有溶洞、孤石和土夹层；

受地形的限制，施工场地狭窄，尤其是运输不方便，弃渣困难，影响施工进度；

扩堑工点多、线长、方量大、施工时间长，出现安全事故的机率大；

施工与运营干扰大，爆破“要点”困难，影响施工进度；

爆破施工必须确保电气接触网安全，必须确保既有线安全，必须确保行车安全。

3.2 爆破开挖方法与设计

3.2.1 人工风枪打眼爆破方案 针对上述工程特点，选取相应的爆破方案至关重要。对于露天石方控制爆破，无非有三种爆破方法：一是洞室松动控制爆破，二是深孔（钻机钻孔）松动控制爆破，三是人工风枪打眼爆破。在线间距 4 m 的条件下，如采取洞室松动控制爆破扩堑，其爆破的岩石坍塌会“侵线”，造成既有线中断，故不可采用；由于扩堑宽度狭窄，受工作面的限制，走行式钻机无法进入工作面钻孔；人搬动立式钻机虽可钻孔，但爆破工点多，一次性投入太大，施工单位不赞成，故采取深孔松动控制爆破扩堑也不现实。只有采取人工风枪打眼爆破法进行扩堑。

我们采取的人工风枪打眼爆破设计计算与常规的“浅眼、密眼、少装药”设计计算原则截然不同。在确保安全的前提下，相对浅眼、密眼来说，我们采取的是深眼大孔网布孔；相对少装药而言，我们采取的装药量是以爆破的岩石松动破碎人工清渣方便为标准，这是笔者设计计算的主要原则，也是对城市岩石爆破，尤其是对衡广、宝成两线扩堑爆破的突破之一。

3.2.2 台阶法爆破开挖 为了人工清渣方便和并行作业，爆破开挖采取的是“无预留隔墙”（突破之二）台阶法。其台阶宽度（垂直既有线方向）即为扩堑的宽度，台阶长度（沿限期有线方向）3~6 m，台阶的高度 H 为 2~2.5 m 和 2.5 m 以上两种类型，这种台阶定义为“纵向侧台阶”，适用于扩堑宽度 2 m 以上。

对于扩堑宽度小于 2 m 的，采取的是横向正台阶（与衡广宝成两线相比为创新之一），其台阶长（沿既有线方向）为 10 m 以上，台阶高度同上。

3.2.3 炮孔参数选择及炮孔分布 台阶高度或分

层梯段（低于接触网采取分层梯段爆破开挖）高度为 H 时，则炮孔排距或最小抵抗线 b (W) 为 $b \leq 0.5 H$

采取等边三角形梅花形布孔，则炮孔间距 a 为

$$a = 1.1 b$$

由于受扩堑宽度限制，有时采取矩形布孔，则炮孔间距 a 为

$$a = b$$

对于纵向侧台阶无隔墙爆破开挖，其炮孔分三种类型：靠近既有线一侧的一列炮孔（与既有线平行），称为边炮孔；紧挨扩堑后边坡的一列炮孔，称为光爆孔；边炮孔与光爆孔之间的炮孔称为主炮孔。

边炮孔到既有线方向的临空面距离应大于主炮孔的间距 a，其排距应小于主炮孔，一般为主炮孔沿既有线方向布 3 个时，则布边炮孔为 4 个。

光爆孔沿扩堑设计的边坡打斜眼，其炮孔排距与边炮孔相同。

边炮孔和主炮孔均垂直打眼，其炮孔深度 L 为

$$L = 1.1 H$$

光爆孔的炮孔深度 L_g 为

$$L_g = H / \sin \alpha + 0.1 H$$

式中 α 为扩堑后边坡坡角。

边炮孔、主炮孔和光爆孔在台阶上分布如图 2 所示。

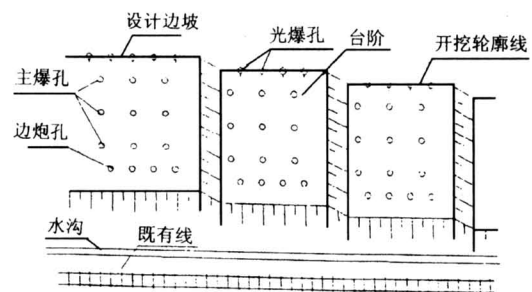


图2 台阶及炮孔分布

Fig.2 Benches and pattern of blast holes

3.2.4 炮孔装药量计算及装药结构 每个炮孔装药量计算公式为：

$$Q = qabH$$

式中的 Q 为每孔装药量/kg，q 为单位耗药量/ $\text{kg} \cdot (\text{m}^3)^{-1}$ 。

公式中的 a、b 和 H 已给定，装药量多少取决

于 q 值；前面已述及，每个炮孔装药量多少是以爆破的岩石松动破碎人工清渣方便为标准，经试爆，对于石灰岩 q 值为 $0.3 \sim 0.5 \text{ kg/m}^3$ 。光爆孔和边炮孔装药量为主炮孔的 $0.7 \sim 0.8$ 。

主炮孔采取间隔装药。把实际装药量的 $2/3$ 装在炮孔底部，其余 $1/3$ 装在炮孔中间部位，中间装药距炮孔口深为 $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$ 。边炮孔把实际装药量全部装在孔底。光爆孔采取间隔装药，把实际装药量的 $1/2$ 装在孔底，剩余 $1/2$ 的 60% 装在距底部药包 $1.2 \sim 1.5 \text{ m}$ 处，再把剩余的 40% 装在距炮孔口 0.8 m 深的位置上，炮孔中的 3 个药包均绑扎在导爆索上。

主炮孔间隔装药的隔离物 and 所有炮孔的回填堵塞物均使用“炮泥”，边回填边捣固坚实。

3.2.5 起爆网路 除光爆孔使用导爆索以外，起爆网路为单一的导爆管非电起爆系统。起爆网路设计的是两种：一种是同列同段孔外等间隔控制微差起爆网路，另一种是同列同段列间微差起爆网路。

同列同段孔外等间隔控制微差起爆网路，其起爆顺序是，先起爆扩堑横断面上的中间炮孔，然后隔段向两侧逐渐起爆；同列炮孔装同一段别的毫秒雷管；孔外用同一段别的毫秒雷管串联，图 3 所示为经常采用起爆网路。但经常采取光爆孔不与主炮孔和边炮孔一次起爆，预留光爆层单独起爆，这十分利于边坡平顺整齐，其边坡质量优于宝成线。这种起爆网路与宝成的梯形微差起爆网路相比，网路铺设简便、清晰，使用雷管段别少，而且微差效果好。

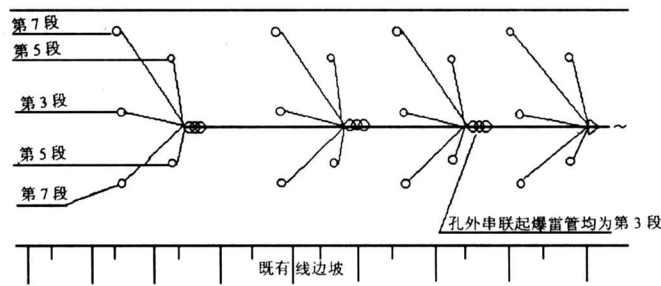


图 3 同列同段孔外等间隔控制微差网路

Fig.3 Controlled Short-delay net of same interval for same series and segment

对于分层梯段爆破和横向正台阶，设计的是同列同段列间微差起爆网路，沿线路走向每一列炮孔

安放同一段别的毫秒雷管，列与列之间跳段，如图 4 所示。

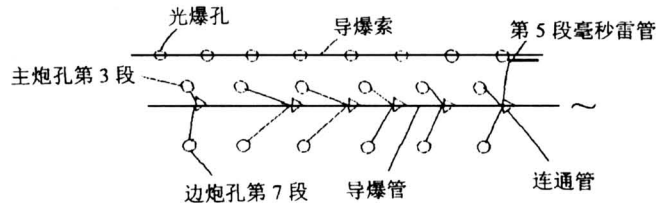


图 4 同列同段列间微差起爆网路

Fig.4 Short-delay initiation net of same series and segment

4 安全防护

关于安全防护，设计并实施的是两种方法，一是爆破体的覆盖，二是全封闭钢管排架防护体系。

4.1 覆盖

设计并自行加工制作的覆盖材料——炮被。所谓炮被就是利用汽车废轮胎加工制成的，形状大小像棉被一样，覆盖在爆破体上。炮被制作比较简

单，首先把轮胎外层的橡胶剥离，然后把剥离剩下的外胎切成长 2 m、宽约 5 cm、厚 1 cm 的长条，将长条像编席子一样编在一起，其规格为 2 m × 2.5 m 等多种尺寸。

炮被与常规的多种复合覆盖材料相比，不但具有韧性好、弹性强、无变形、透气好、耐用和费用低等优点，而且覆盖效果好，是目前最理想的单一覆盖材料。

4.2 全封闭钢管排架防护体系

全封闭钢管排架防护体系，简称钢管排架，架设在扩堍靠近既有线一侧，其结构和架设的位置见图 5。

钢管排架与衡广、宝成两线采取的栅洞防护和钢轨排架相比，具有费用低，架设方便，重复使用和防护效果好等优点。

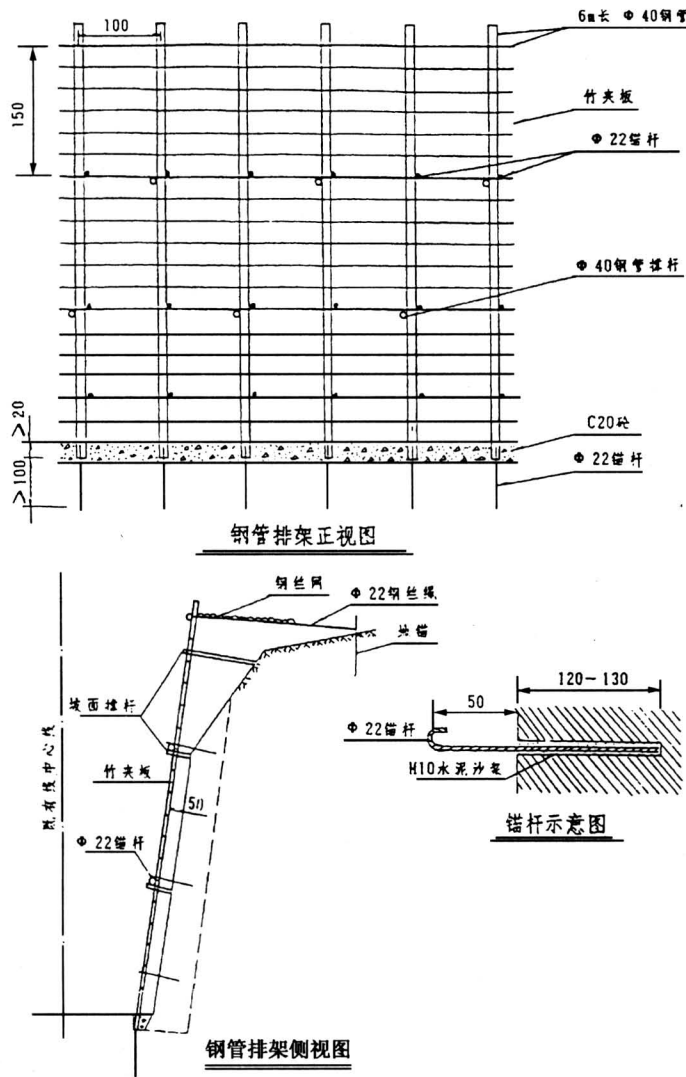


图 5 钢管排架

Fig.5 Steel pipe bent

5 取得的成果

课题组与施工单位密切配合、协同攻关，已圆满地完成课题和施工任务，达到了电气化铁路既有

线扩堍石方控制爆破安全快速施工的目的。

5.1 技术措施实用先进有创造性

加强和提高安全意识和管理虽然很重要，但确保安全采取的技术措施更为重要，是确保安全的根

本。如果说前者为标,那么后者则为本。笔者所指的本是:爆破参数选择的科学合理,装药量适度,注重炮孔回填堵塞质量,实施微差爆破等,达到了爆破的岩石松动破碎而不飞散、松动而不坍塌的预期目的。

除了采取上述技术措施外,为杜绝个别飞石、滚石、滑块,加强了防护覆盖。对于覆盖轮胎编织的炮被,不便覆盖效果好,而且经济耐用。架设的全封闭钢管排架防护体系,密实牢固,是防止飞石、滚石、滑块的有效措施。

对于安全防护,采取的炮被和钢管排架,开辟了一条安全防护的新途径,可作为今后电气化铁路既有有线扩堑石方控制爆破安全防护的规范。

在爆破施工时间长、扩堑线长、点多、工程量大、环境复杂的条件下,由于标本兼治,在整个爆破施工过程中,确保了电气接触网的安全,确保了线路安全和行车安全,确保了行车正常运行,运营、建设、施工单位等皆大欢喜,这是电气化铁路既有有线扩堑石方控制爆破安全快速施工技术的研究取得的一项重要成果。

5.2 施工速度快施工效率高

在人工风枪打眼和人工清渣的情况下,扩堑施工主要是人工打眼和人工清渣占用时间长。如何加快施工进度提高施工效率,打眼占用的时间长短是关键。在打眼速度和爆破方量一定的条件下,只有减少打眼的数量和增加打眼的深度,才能加快打眼的进度和提高炮孔爆破效率,才能加快施工进度。为此,笔者在炮孔设计相对浅眼、密眼方法而言,采取的是深眼、大孔网布孔的方法,例如选定台阶(梯段)高度 H 为 3 m,打眼深度为 3.3 m,排距 b 为 1.2 m,孔距 a 为 1.5 m,这就减少了打眼数量和提高了炮孔每延米的爆破方量。在炮孔装药上,相对于少装药方法而言,我们采取的装药量是以爆破后的岩石松动破碎,人工清渣方便为标准,这样才能缩短清渣时间,加快施工进度,提高施工效率。

横向正台阶和纵向侧台阶无隔墙爆破开挖方法,提高了爆破效果,改善了施工环境,从而加快了施工进度,这是对既有有线扩堑石方控制爆破的发展和突破。

5.3 技术指标好,效益显著

单位耗药量 $0.2 \sim 0.5 \text{ kg/m}^3$,准爆率 98.5%

以上;

爆破后岩石破碎,人工清渣方便,大块率低于 2%;

光面爆破半眼痕保留率达 90% 以上,边坡平顺整齐;

炮孔每延米爆破方量达 $1.64 \text{ m}^3/\text{m}$,施工工效达 $3.76 \text{ m}^3/\text{m}$;

经济与社会效益极其显著,与《全国城镇控制爆破统一规定》中的岩石爆破相比^[2],创直接经济效益 2 亿多元,确保线路安全和行车正常运行,其间接经济效益和社会效益十分可观,尤其是爆破施工高潮正值昆明世博会,确保行车正常运行,为铁路争了光,在社会上产生了很好影响。

6 结语

2000 年 3 月 2 日通过了部级鉴定,鉴定认为:电气化铁路既有有线扩堑石方控制爆破安全快速施工技术,在株六电气化铁路既有有线扩堑石方控制爆破工程中,其施工方案、炮孔布置、药量计算、参数选择、起爆技术和安全防护技术等科学合理,先进实用,为安全快速完成株六电气化铁路扩堑改造工程作出了重要贡献;

株六复线线长,石方控爆点多、量大,环境复杂,在长达约 300 km 的线路上,有石方控制爆破扩堑工点 207 个,爆破方量约 $207 \times 10^4 \text{ m}^3$,规模及技术难度在国内外是罕见的,利用废旧轮胎制作的柔性炮被和全封闭钢管排架防护体系,能有效地防止飞石,确定了行车安全,开辟了安全防护新途径,有创造性,建议纳入有关技术标准;

采用深孔、大孔网布孔,合理装药量和装药结构,同列同段孔外等间隔控制微差,正向和侧向台阶无隔墙、梯段爆破、光面爆破等技术提高了施工效率,加快了施工进度,技术经济指标先进,经济效益和社会显著,该项爆破技术在同类工程中居办内领先地位,具有国际先进水平。

参考文献

- [1] 铁道部. 铁路增建第二线及改建既有有线工程石方控制爆破施工技术规范 [S], 北京: 1998
- [2] 建设部. 全国统一城镇控制爆破工程、洞室大爆破工程预算定额 [M], 北京: 中国计划出版社, 1998

Safety and Rapid Construction Technology in Expand Cutting at Existing Line with Controlled Rock Blasting for Electrified Railway

He Guangyi, Jing Shan, Wany Zhaoyou

(research & Design Institute of Railway Construction, Beijing. 102600. China)

[Abstract] The blasting conditions, topography and geology of rock blasting for expanding cutting at the existing line of electrified railway are more complicated and difficult than that of rock blasting or foundation demolishing blast in cities. The engineering quantity is larger, too. As there has electrify overhead contact line and short space to the existing line, it is much more difficult than blasting for expanding cutting at non-electrified railway. The paper introduces the practicable technology adopted in the light of the features of expanding the cutting for electrified railway existing line in order to attain the purpose of safety and rapid construction.

[Key words] electrified overhead contact line; existing line; expanding of cutting; controlled rock blasting; non-electric initiation; safe and rapid construction technology



(cont. from p.72)

Dynamic Setting Automatic Control System for Flatness and Gauge

Zhang Jinzhi, Duan Chunhua

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China)

[Abstract] In this paper, the shape optimal rolling schedule and new method of shape and gauge coordination control, which are inferred from the newbuilt analytic shape equation, are introduced. This method's characteristics is that shape and gauge close-circuit control is achieved by means of static load distribution, dynamic load distribution and dynamic setting Automatic Gauge Control (AGC), and Bellman dynamic programming is employed in calculation. The new method will change the present design thoughts on roller manufacture: transforming from high stiffness into proper stiffness. According to the analysis results from the economic benefits, free rolling, which are propagated and pursued, in steel rolling circles is a misleading, so custom dispatch plan, making up roll crown and optimize rolling schedule should be developed. Because the former is of high investment and high consumption, the latter are no investment and no consumption, and can make full use of information flow.

[Key words] dynamic load distribution; shape optimal schedule; dynamic programming; dynamic setting

* * * * *

全国第八届可拓工程年会在广州召开