

DIANLI JICHE YOUHUA CAOZONG  
JIBEN ZHISHI JI CAOZONG FANGFA

# 电力机车优化操纵 基本知识及操纵方法

济南铁路局机务处 组织编写

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

# 电力机车优化操纵 基本知识及操纵方法

济南铁路局机务处 组织编写

铁道(910) 0000000000

中国铁道出版社

2010年·北京

## 内 容 简 介

本书共分七部分,主要包括:机车优化操纵基本知识;机车牵引、惰行、制动优化操纵及综合问题;机车开放式和保守式两种宏观优化操纵方法;列车跟踪运行优化操纵问题;优化操纵环境问题;常用机车微观优化操纵方法介绍;列车优化操纵示意图。

本书可作为机车司机学习机车优化操纵知识及技术的参考教材;也可作为优化调度、优化工电施工等教学科研参考资料;还可作为机车优化操纵、列车优化调度计算机软件开发设计参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力机车优化操纵基本知识及操纵方法/济南铁路  
局机务处组织编写. —北京:中国铁道出版社,2010.8

ISBN 978-7-113-11775-7

I. ①电… II. ①济… III. ①电力机车—机车操纵  
IV. ①U268.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 157081 号

书 名:电力机车优化操纵基本知识及操纵方法

作 者:济南铁路局机务处 组织编写

责任编辑:王风雨

电话:010-5183139

电子信箱:tdpress@126.com

封面设计:崔 欣

责任校对:张玉华

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市华业印装厂

版 次:2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

开 本:880mm×1230mm 1/32 印张:4.375 字数:110千

印 数:1~5000册

书 号:ISBN 978-7-113-11775-7

定 价:13.00元

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

## 前 言

电力机车优化操纵理论是实践性很强的一门应用软科学,它不仅具有理论意义,更具有现实安全和经济意义。

济南西机务段对内燃牵引条件下的机车优化操纵理论及应用技术研究已开展多年,从最初的经济操纵、节能操纵到优化操纵,其研究不断深入。作为国内最早提出优化操纵者之一,围绕此问题发表的论文多达 20 篇,并结合实际制定和采取了多项措施。

对该项问题的有关研究,在 1999 年曾引发济南铁路局以节能、降耗、提效为目的的“三项攻关”活动,该活动在济南铁路局持续数年,取得巨大成功。

济南西机务段在 2006 年 7 月 1 日开始使用电力机车,由于机车司机操纵技术等方面的问题,重货列车运缓、坡停、停于无电区等问题时有发生,这些问题亟待研究解决。为此济南西机务段提出“电力机车优化操纵理论及应用技术研究”课题,上报济南铁路局科委。2009 年列为路局科技研究开发计划项目。

针对机车优化操纵问题,国内外对机车优化操纵的研究大多只限于节能问题的研究,而且多停留在理论探讨上,而对于节能驾驶指导装置目前还没有进入应用阶段,至少还没有大面积推广使用。因为大多数数学模型是依据给定的运行时间作为约束条件,而这一时间多为图定时间,所以数学模型只能给出在给定时间或前方信号显示状态下的驾驶指导,目前对于普通客车、货物列车还无法适时给出对应于实际限制条件的优化驾驶方案。

因此,现阶段由于列车运行限制条件的复杂性等客观条件限制,货物列车在相当长时间内是离不开人工控制的。对以人工控制为主的电力机车优化操纵理论及应用技术进行研究是非常有必要的。

“电力机车优化操纵理论及应用技术研究”课题,于 2010 年 1

月通过了济南铁路局科委组织的科技成果鉴定。

本书是该项研究课题的一个重要组成部分,编写本书的主要目的有两个:一是通过向机车司机培训机车优化操纵基本知识、观点和具体的操纵方法,纠正错误操纵习惯,提高优化操纵技术水平;二是通过本书促进国内对机车优化操纵问题研究,以便集中群体智慧尽快形成对机车乘务员进行机车优化操纵培训教育的基础性教材。

本书对机车优化操纵基本知识和操纵要点进行分析和重点介绍,便于司机查对学习,也使本书具有更强的指导性和针对性。有关结论的详细论证过程可参阅所附参考文献。

本书力求精炼、实用,以便于读者能用较短时间了解、掌握机车优化操纵有关知识。

本书作为机车司机培训教材时,对机车优化操纵基本知识方面,可只重点要求掌握有关结论;而对具体的操纵方法,应详细进行培训。

本书编写人员:韩长虎、刘杰民、高军、李翔鹏、沈泓、徐浩东、冷广平、李玉山、尹义伟、刘胜伟、方海鹏、汪朋辉、郝建杰、王志刚。

审核人员:单立军、仇世进、尹毓伟、张天清。

本书所附“京沪下行线济南西一大汶口间列车优化操纵示意图”由韩飞、宋宇平、王军委、范昌、张恒桥、王华编制。

本书得以面世,得益于许多领导的支持和同志们的帮助。郑州局列车牵引与制动专家孙中央、北京交通大学教授张家栋等专家提出了指导性意见。在此表示衷心感谢。

由于经验不足,加之受我们水平所限,书中错误与不当之处在所难免,敬请读者批评指正,以便于使之不断改进完善。

编者

2010年7月

# 目 录

一、机车优化操纵基本知识	1
1. 机车优化操纵	1
2. 操纵环境	1
3. 广义和狭义优化操纵	1
4. 安全、效率、经济在优化操纵中的涵义	1
5. 列车运行限制条件	2
6. 优化操纵在节能方面寻求的是满意解	3
7. 简述优化操纵理论的主要研究工具和方法	3
二、机车牵引、惰行、制动优化操纵	4
(一) 机车牵引优化操纵问题	4
8. 列车阻力	4
9. 单位运行基本阻力强弱特性	5
10. 运行基本阻力特性与节能操纵的关系	5
11. 机车总效率特性与节能操纵的关系	6
12. 运行基本阻力特性与机车总效率特性在牵引节能问题上是一对矛盾	7
13. 均衡速度模型	7
14. 电力牵引节能操纵第一论断	7
15. 第一论断的现实意义	8
16. 第一论断成立的证据及成立的本质	9
17. 电力牵引节能操纵第二论断	10
18. 第二论断的现实意义	10
19. 电力牵引节能运行第三论断	11
20. 第三论断的现实意义	13

(二)惰行优化操纵问题 .....	13
21. 列车动能 .....	13
22. 列车获得动能的宏观性结论 .....	14
23. 什么是有用动能和无用动能 .....	14
24. 对列车动能有用程度的界定 .....	14
25. 有用动能和无用动能是相对的,是有条件的 .....	15
26. 限制列车动能充分利用的各种因素 .....	16
27. 只有、也只有惰行才会使列车动能得到充分利用 .....	16
28. 惰行与节能操纵的关系 .....	17
(三)列车制动运行 .....	17
29. 列车制动耗能一般意义计算式 .....	17
30. 列车制动耗能量计算 .....	18
31. 必要制动 .....	18
32. 不必要制动 .....	19
33. 必要、不必要制动产生原因及特点 .....	19
34. 制动损失问题 .....	21
35. 机车节能操纵的侧重点及动力制动单独使用问题 .....	21
(四)综合问题 .....	21
36. 起停耗能问题 .....	21
37. 牵引、惰行、制动各阶段的合理组合问题 .....	22
<b>三、机车宏观优化操纵方法</b> .....	24
38. 机车节能操纵总表达式 .....	24
39. 对节能操纵总表达式各项的解释 .....	24
40. 节能操纵总表达式是宏观分析的有力工具 .....	25
41. 机车宏观优化操纵方法 .....	28
42. 机车宏观优化操纵方法有开放式和保守式两种 .....	28
43. 开放式操纵方法 .....	28
44. 保守式操纵方法 .....	29
45. 开放式和保守式操纵的具体应用 .....	30

46.	适度保守式操纵的安全、效率意义 .....	32
47.	经济控制点 .....	33
48.	中间站的经济类型 .....	35
49.	有用动能倾注热点中间站 .....	37
<b>四、列车跟踪运行优化操纵问题</b> .....		38
50.	时间间隔、等时性间隔 .....	38
51.	距离间隔、等距离性间隔 .....	38
52.	刚性波及、柔性波及 .....	38
53.	等时性和等距离性间隔都是相对的 .....	38
54.	等时性和等距离性间隔之间的关系及有关结论 的得出 .....	39
55.	增加和减小时间、距离间隔的操纵方法 .....	41
56.	刚性波及和柔性波及的特点 .....	41
57.	刚性波及和柔性波及的相对性 .....	41
58.	列车跟踪运行的稳定问题 .....	42
59.	什么是合适的列车间隔 .....	42
60.	列车跟踪运行操纵的目的 .....	42
61.	列车跟踪运行操纵原则 .....	43
<b>五、优化操纵环境问题</b> .....		46
<b>(一)车机联控制度优化重点</b> .....		46
62.	列车运行信息的巨大经济价值 .....	46
63.	列车无线调度通信设备是实现列车运行信息巨大 安全经济价值的特殊性载体 .....	47
64.	使用列车无线调度通信设备存在恰当地点 .....	47
65.	倒推惰行速度线法求解列车无线调度通信设备使用 的恰当地点 .....	48
66.	优化的车机联控制度加优化的机车操纵 .....	49



(二)整体调度与局部调度优化重点 .....	49
67. 列车调度员整体调度优化重点 .....	49
68. 车站值班员局部调度优化重点 .....	50
(三)站场、线路、道岔、信号及工电施工优化重点 .....	51
69. 站场、线路优化重点 .....	51
70. 道岔优化重点 .....	51
71. 道岔优化应遵循的原则 .....	52
72. “长”接近,“短”离去信号机设置位置优化重点 .....	52
73. 信号显示优化重点 .....	53
<b>六、机车微观优化操纵方法</b> .....	54
(一)机车宏观与微观优化操纵方法的关系 .....	54
74. 机车微观优化操纵方法 .....	54
75. 机车宏观和微观优化操纵方法的关系 .....	54
(二)数种机车微观优化操纵方法简介 .....	55
76. 列车动能大小与改变错误操纵习惯 .....	55
77. 列车高、中、低速及相互波及规律 .....	55
78. 快起车、快加速操纵法 .....	55
79. 二阶段快加速操纵法 .....	56
80. 牵引微调操纵法 .....	56
81. 牵引手柄挡位相对稳定操纵法 .....	56
82. 开放式提手柄法 .....	56
83. 开放式回手柄法 .....	57
84. 惰行微观优化操纵方法 .....	57
85. 制动微观优化操纵综合方法 .....	59
86. 一段制动法和二段制动法 .....	61
87. 长波浪式制动法和短波浪式制动法 .....	61
88. 停车平稳准确的制动方法 .....	62
89. 中速段运行双优化操纵法 .....	62

90. 通过慢行(减速)地点的操纵方法	63
91. 增加或减少列车间隔(时间或距离间隔)的操纵方法	63
92. 平行操纵方法	63
93. 平稳操纵方法	64
94. 减轻机车晃动操纵方法	66
95. 空转、滑行的危害及操纵应注意的问题	66
(三)站间大锯齿波微观优化操纵方法	67
96. 锯齿波操纵法	67
97. 站间大锯齿波操纵法	67
98. 站间锯齿波操纵与开放式、保守式操纵的异同	68
(四)减少因黏着牵引力不足造成运缓坡停的操纵方法	69
99. 按能量转换过程的限制关系,对机车牵引力的分类	69
100. 持续电流、持续速度、持续牵引力	69
101. 计算黏着系数	70
102. 黏着牵引力计算式	70
103. HXD <sub>3</sub> 与SS <sub>4</sub> 机车黏着牵引力对比分析	71
104. 遇雨雪霜露天气时黏着牵引力(黏着系数)下降幅度问题	71
105. 几种机型货运机车牵引计算主要数据比较	72
106. 几种机型货运机车外包线轮周牵引力对比	72
107. 列车起动及运行总阻力对比	74
108. 从牵引重货列车角度对上坡道区间的分类	74
109. 防止坡停安全措施	75
110. 围歼运缓、坡停其他机务段的经验	76
111. 防止和减小空转影响的措施	76
(五)重货列车困难上坡道起停微观优化操纵方法	77
112. 困难上坡道停车的几个问题	78

113.	压缩车钩的目的	79
114.	车辆带闸压钩	79
115.	重货列车困难上坡道顺利起车的必要条件	79
116.	重货列车上坡道常规起车操纵方法	80
117.	重货列车上坡道特别起车操纵方法	80
118.	制动机充风不足对列车制动力的影响(参见文献[1])	81
119.	起车失败后再制动时的合理减压量问题	82
120.	是否重新起动列车和起车限定次数问题	82
(六)	防止或处理折角塞门关闭的微观优化操纵方法	82
121.	停车状态下及起车时防止折角塞门关闭的方法	82
122.	“充满风再动车”的说法是不正确的	85
123.	运行途中防止折角塞门关闭的方法	86
124.	发现折角塞门关闭后的处理	88
(七)	HXD <sub>3</sub> 、SS <sub>4</sub> 改型机车几种操纵方法	89
125.	货物列车站内一次停妥特殊操纵法	89
126.	特殊情况下的手动过分相操纵方法	90
127.	恒牵引力、准恒速电力机车的主手柄、制动手柄 提回方法	93
128.	HXD <sub>3</sub> 、SS <sub>4</sub> 型电力机车动力制动及动力制动与 空气制动配合使用方法	95
129.	电力机车牵引旅客列车的操纵问题	97
130.	货物列车在高坡地段的防溜操纵(参见文献[1])	98
131.	SS <sub>4</sub> 型机车甩单节后操纵方法指导	98
(八)	货物列车运行中突起非常停车的综合判断处理方法	99
132.	突起非常停车的综合判断步骤	99
133.	邻线紧急防护	100
134.	列车突起非常制动停车的原因分类	100
135.	后部检查处理应携带的主要工具和防护用品	100
136.	后部查找前司机对机车制动机处置的关键步骤	100

137. 车辆制动截断塞门以里严重泄漏时的处理 .....	101
138. 货物列车制动主管(不包括制动软管)发生故障 时的处理 .....	101
139. 制动软管爆破或拉断后的处理 .....	101
140. 钩舌断损时的处理 .....	101
141. 列车分离后的处理 .....	101
142. 突起非常停车三种危险情况及安全注意事项 .....	103
143. 需要强化的意识和需要掌握的基本技能 .....	104
<b>七、列车优化操纵示意图 .....</b>	<b>106</b>
144. 列车优化操纵示意图应包含的主要内容 .....	106
145. 优化操纵示意图应为机车司机提供全方位的操纵 方法指导 .....	107
146. 操纵小区划分问题 .....	108
147. 列车优化操纵示意图设计举例 .....	109
<b>参考文献.....</b>	<b>127</b>

## 一、机车优化操纵基本知识

### 1. 机车优化操纵

机车优化操纵(以下简称优化操纵)是研究在一定操纵环境条件下,如何使列车运行安全(平稳、减少断钩、坡停、分相区停车等)、经济(节省能源)、效率(减少运缓提高技术速度、旅行速度)相统一的一门科学。

按操纵目的或侧重点的不同优化操纵又可分为经济操纵、平稳操纵、安全操纵等。

按操纵环境优化度来分,可分为广义和狭义两种(参见第3条)。

### 2. 操纵环境

所谓操纵环境是指除机车操纵以外所有外部约束条件。如站场、线路、信号设置,调度指挥方式,乘务方式,列车运行图规定的运行时刻,机车牵引特性、制动特性、总效率特性,列车编组及阻力特性,监控装置控制模式,以及各级、各部门制定的经济技术政策等,它们共同制约着列车操纵,操纵环境对机车优化操纵有巨大反作用。

### 3. 广义和狭义的优化操纵

优化操纵从广义上讲是指操纵环境和机车司机操纵技术同步进行优化,系统进行治理。它使列车运行系统得到整合,系统能产生出最佳安全、效率、效益。

优化操纵从狭义上讲,就是仅从机车司机单方面挖潜,存有局限性。

通常我们所讲的优化操纵是从狭义上讲的,主要靠机车司机自身的素质。鉴于操纵环境的重要性,广义的优化操纵日益受到铁路各级领导及科研部门的关注。

### 4. 安全、效率、经济在优化操纵中的涵义

安全、效率、经济效益在优化操纵理论中的地位是这样的:安

全是前提,效率是根本,经济效益是中心。其内涵主要是:

所谓安全主要是指司机应严格按信号显示要求运行,并严格遵守各种限制速度,使列车平稳运行,遇有紧急情况,果断采取措施,防止事故发生。

所谓效率是指在安全的前提下,司机要尽可能提高列车运行速度,缩短运行时间,加速机车、车辆周转,提高社会效益。在列车密度高的区段,尤其要掌握好列车跟踪操纵技术,在优化运行秩序上狠下工夫,这是提高运行效率的关键。

所谓经济是指依据实际限制条件,只有当采用与之相对应的优化操纵方法时,才能使列车运行得到优化,达到相对应运行条件下的最佳节能状态。节能是明显的直接的经济效益。而效率从根本上讲也是经济效益,如旅行速度提高会加速机车、车辆周转,减少机班供应,减少空载耗能;运行秩序优化会减少制动损失。其实效率所产生的间接和直接经济效益更为广泛。

### 5. 列车运行限制条件

列车运行是有一定限制条件的,这种限制条件主要是列车走行某段距离时的限定时间。在不同的限定条件下,机车司机要采用与之相对应的优化操纵方法,才会产生出最佳效益。列车运行限制条件从宏观上可分为理想和非理想条件两类。

理想条件是指列车在较长的距离范围内按列车运行图规定的运行时刻运行不受任何波及(阻碍影响)或者司机早已知道前方站安排停车,并且前方站进路能及时准备妥当。

非理想条件是指列车按运行图规定的运行时刻通过某一地点必将受到柔性或刚性波及(柔性波及为弱阻碍影响、刚性波及为强阻碍影响,参见第 52 条),或当前方站安排停车,并且进路不能及时准备妥当。

列车运行限制条件是优化操纵理论及应用研究的重要内容之一,机车优化操纵理论反复强调机车司机在操纵列车时必须以实际限制条件为依据,针对不同限制条件,适时采用与之对应的优化操纵方法。另外,比较任意两种操纵方法优劣与否,也是离不开列

车运行限制条件的。

## 6. 优化操纵在节能方面寻求的是满意解

关于优化操纵在节能方面寻求解(解在此指耗能量)的问题,历来存有争议。有人可能认为不寻求最优解或寻不到最优解的操纵就不能算做优化操纵。其实这种认识是片面的,对实践是极为有害的。理性分析表明,无论是人工控制,还是计算机寻求最优方案,都很难得到“真正的最优解”。因此,通常优化操纵所得到的是满意解,而不是“真正的最优解”。

满意解不同于一般解。满意解是采用优化操纵方法才能取得的,它接近于“真正的最优解”。但其接近“真正的最优解”的程度取决于机车司机的优化操纵技术水平,或计算机寻优所采集的各种约束条件(参数)的真实或准确性。

## 7. 简述优化操纵理论的主要研究工具和方法

列车牵引计算理论是优化操纵理论研究的主要工具,它还要借鉴数学、力学、热力学等各种学科的研究成果。它的主要研究方法是系统的、宏观的、逻辑的、辩证的、抓主要矛盾的、具体问题具体分析、试验的和比较的方法等。

优化操纵理论及应用技术研究就是实事求是,具体问题具体分析。它反对一刀切,反对形而上学。它是辩证地、系统地、全面地去看问题。这是因为,现实中在运输繁忙的铁路干线,非理想条件也是经常存在的。如果不区分运行限制条件,而是盲目地、一味地采用开放式操纵追求所谓高技速,必将遭受客观规律的惩罚。不仅无经济、效率可言,而且也无安全可言。

## 二、机车牵引、惰行、制动优化操纵

### (一) 机车牵引优化操纵问题

#### 8. 列车阻力

(1) 列车阻力是与列车运行方向相反、阻碍列车运行的、司机不可控制的外力。

(2) 按产生原因,列车阻力可分为基本阻力和附加阻力。

基本阻力是机车和车辆在运行中(包括起动时)永远存在的阻力。列车在平直道上运行时,只有运行基本阻力。在平直道上起动车时,只有起动车基本阻力。运行基本阻力是随运行速度增大而增加的。因此,基本阻力的大小,机车司机虽然不能直接控制,但也可通过调整运行速度间接进行控制。引起基本阻力的因素很多。其中最主要的是机车、车辆零部件间,机车、车辆表面与空气和车轮与钢轨间的相互摩擦和冲击。

附加阻力只发生在个别情况下。例如:在坡道上运行时有坡道附加阻力,在曲线上运行时有曲线附加阻力,在隧道内运行时有隧道空气附加阻力等。坡道附加阻力不随速度发生变化,曲线附加阻力一般认为也是不随速度变化而变化的。

基本阻力与附加阻力之和称为全阻力。

(3) 按作用范围,列车阻力可分为总阻力和单位阻力。

总阻力是作用在机车、车辆或列车全部重量上的阻力。用“ $W$ ”表示。单位是 kN。

单位阻力是平均到机车、车辆或列车每 kN 重力上的阻力。用“ $w$ ”表示。单位是 N/kN。

(4) 机车、车辆单位起动车基本阻力

电力、内燃机车的单位起动车基本阻力  $w'_q$  均取 5 N/kN。

滚动轴承货车的单位起动车基本阻力  $w''_q$  均取 3.5 N/kN。



(5) 机车、车辆单位运行基本阻力

SS <sub>4</sub> 型机车	$w'_0 = 2.25 + 0.019v + 0.000320v^2$
各型 DF <sub>4</sub> 、DF <sub>7D</sub> 机车	$w'_0 = 2.28 + 0.0293v + 0.000178v^2$
ND <sub>5</sub> 型机车	$w'_0 = 1.31 + 0.0167v + 0.000391v^2$
21、22 型客车	$w''_0 = 1.66 + 0.0075v + 0.000155v^2$
25B、25G 型客车	$w''_0 = 1.82 + 0.0100v + 0.000145v^2$
滚动轴承重货车	$w''_0 = 0.92 + 0.0048v + 0.000125v^2$
油罐专列	$w''_0 = 0.53 + 0.0121v + 0.000080v^2$
空货车	$w''_0 = 2.23 + 0.0053v + 0.000675v^2$

9. 单位运行基本阻力强弱特性

由前述单位运行基本阻力公式可以清楚地看到：单位运行基本阻力无论是机车还是车辆均随速度的增加而增大，但其增加的幅度却存有一定差别。单位运行基本阻力随速度变化幅度较大的我们称其具有强特性，反之为弱特性。强弱特性是相对的，是相比较而存在的。显然，空车与重车相比，空车呈强特性，重车呈弱特性。

10. 运行基本阻力特性与节能操纵的关系

阻力分为基本阻力和附加阻力。附加阻力一般认为是不随速度变化而变化的。也就是说，作为已定列车要走某区段，机车牵引力克服附加阻力所做的功是一定值，是司机所无法改变的。而机车牵引力克服运行基本阻力所做的功却是一个变量，随图定时间、调度方式、操纵方式等不同而不同。这个变量越大，当牵引运行时就意味着机车耗能就越多。由于列车运行基本阻力是随运行速度的增加而增大的。

因此，可以这样认为：似乎列车运行速度越低，牵引运行同样距离机车部分或全部牵引力克服部分或全部运行基本阻力所做的功就越小，耗能就越小。

基本阻力是列车运行中(包括起动时)永远存在的阻力。无论是机车、客车还是货车运行基本阻力都随运行速度的提高而增加，具体数值参见表 1。